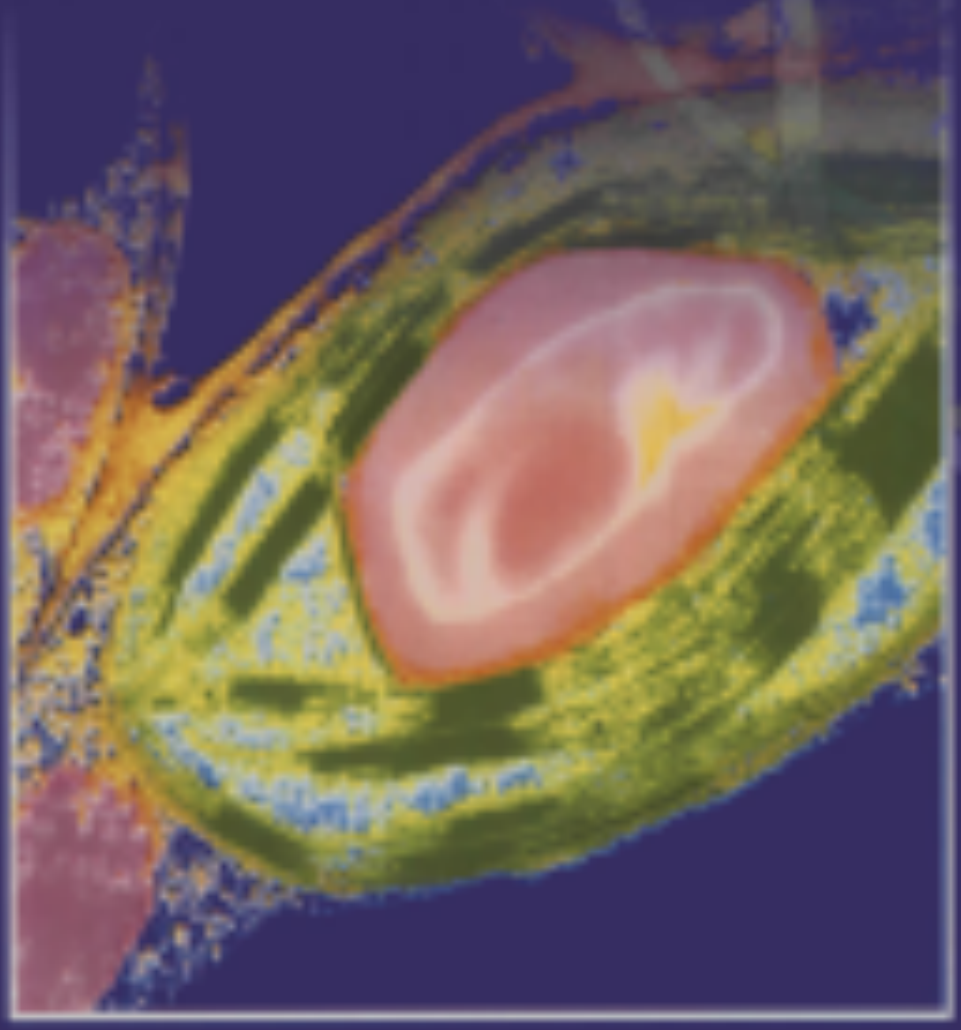
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ



ΒΙΟΛΟΓΙΑ

γενικής παιδείας

Β΄ τάξης γενικού λυκείου

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ • ΑΘΗΝΑ

Κεφάλαιο 1

Πρότυπο του μορίου της δεϋδρογονάσης της αλκοόλης (ένζυμο). Οι μοβ σφαίρες αντιστοιχούν σε μόρια συνένζυμου NAD.

Χημική σύσταση του κυττάρου

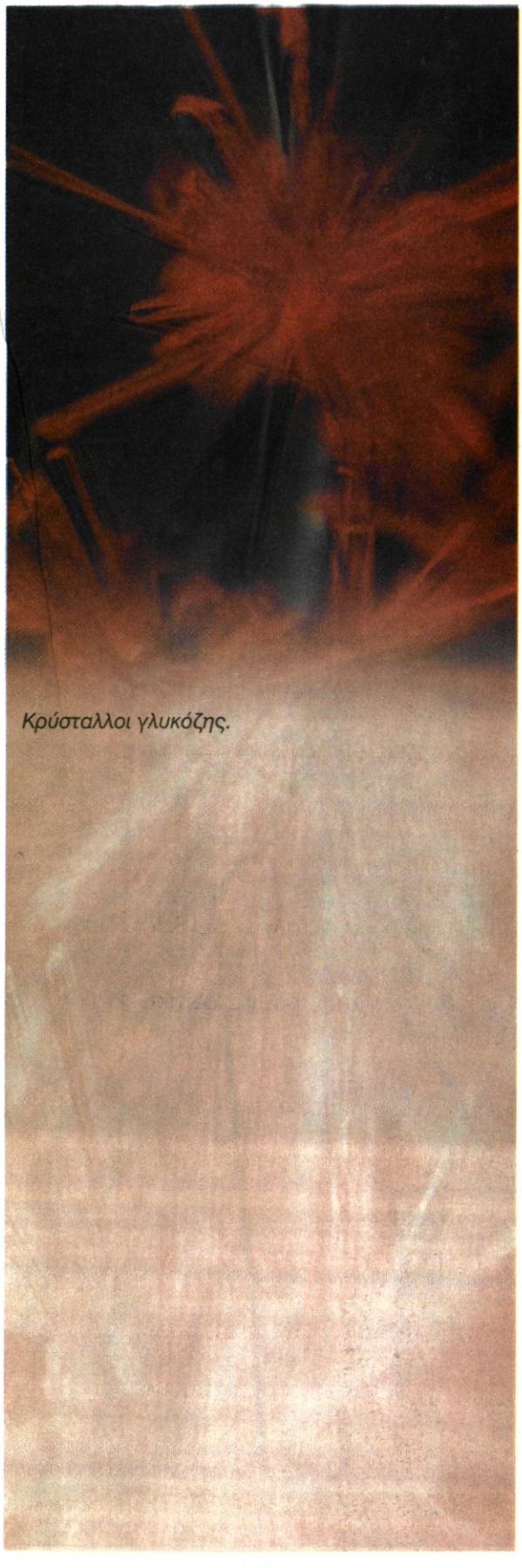
1.1 Η χημεία της ζωής

1.2 Μακρομόρια

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος της μελέτης αυτού του κεφαλαίου θα μπορείτε:

- Να διακρίνετε ότι τα χημικά στοιχεία που συμμετέχουν στη δομή των βιο-λογικών μορίων συγκαταλέγονται ανάμεσα στα στοιχεία που συνθέτουν το φλοιό της Γης.
- Να συσχετίζετε τις ιδιότητες αυτών των στοιχείων και τη δυνατότητα που έ-χουν να συνδέονται και να αλληλεπιδρούν με τις ιδιότητες των μορίων στα οποία συμμετέχουν.
- Να αιτιολογείτε τον κεντρικό ρόλο του νερού στο φαινό-μενο της ζωής.
- Να αναφέρετε τις σπουδαιότερες ομάδες βιολογικών μακρομορίων (πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα, υδατάνθρακες, λιπίδια) και να περιγράφετε τη δομή τους.
- Να διακρίνετε ομοιότητες στον τρόπο με τον οποίο σχηματίζονται τα διαφορετικά είδη μακρομορίων.
- Να αναγνωρίζετε ότι οι δομές και οι λειτουργίες που σχετίζονται με τις εκδηλώσεις της ζωής δεν είναι παρά προεκτάσεις της δομής, των ιδιοτήτων και των αλληλεπιδράσεων των μακρομορίων που συναντάμε σε ένα ζωντανό κύτταρο.



Κρύσταλλοι γλυκόζης.

Ένας τρόπος για να μελετήσεις το φαινόμενο της ζωής είναι να ξεκινήσεις από τα χημικά μόρια που οικοδομούν τους οργανισμούς, δηλαδή από το «πρώτο επίπεδο οργάνωσης της ζωής», το μοριακό. Θα μάθεις ποια είναι τα συστατικά των κυττάρων και ποια είναι η χημική δομή και η συμπεριφορά αυτών των συστατικών. Θα σου δοθεί έτσι η δυνατότητα να καταλάβεις τον τρόπο με τον οποίο αυτά αλληλεπιδρούν, ώστε να εκδηλώνονται οι διάφορες λειτουργίες στα ανώτερα επίπεδα οργάνωσης της ζωής. Τα επίπεδα αυτά ξεκινούν από το κύτταρο, για να καταλήξουν σταδιακά στο οικοσύστημα.

Στην πορεία αυτής της μελέτης από το μέρος (μόρια) προς το όλο (κύτταρο... οργανισμός... οικοσύστημα) θα διαπιστώσεις ότι:

α. Η δομή των συστατικών του κυττάρου είναι τέτοια, ώστε να εξυπηρετεί τη συγκεκριμένη λειτουργία που αυτό επιτελεί.

β. Κάθε επίπεδο οργάνωσης εμφανίζει φαινόμενα και ιδιότητες που δεν υπήρχαν στο προηγούμενο, ούτε μπορούν να εξηγηθούν από τις ιδιότητες των επιμέρους συστατικών ή δομών τους. Έτσι το κύτταρο, για παράδειγμα, που αποτελεί το πρώτο επίπεδο οργάνωσης, είναι κάτι πολύ περισσότερο από το άθροισμα των μερών του, όπως και ένα ρολόι, από λειτουργική άποψη, είναι κάτι πολύ περισσότερο από το άθροισμα των εξαρτημάτων του.

γ. Η έμβια ύλη διέπεται από τους ίδιους φυσικοχημικούς νόμους που διέπουν και την άβια.

δ. Όλοι οι οργανισμοί, από τον πιο απλό μέχρι τον πιο σύνθετο, αποτελούνται από το ίδιο είδος χημικών μορίων, πράγμα που υποδηλώνει την κοινή προέλευσή τους.

1.1 Η ΧΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΖΩΗΣ

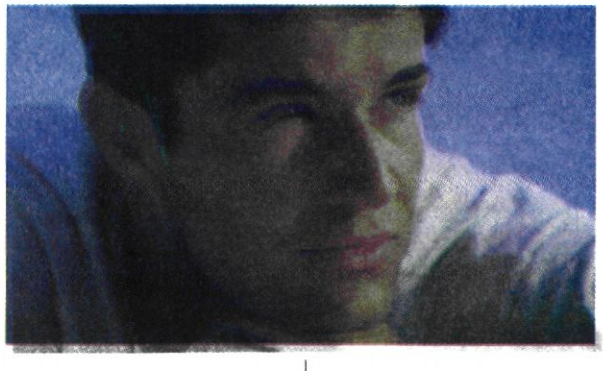
Χημικά στοιχεία που συνθέτουν τους οργανισμούς

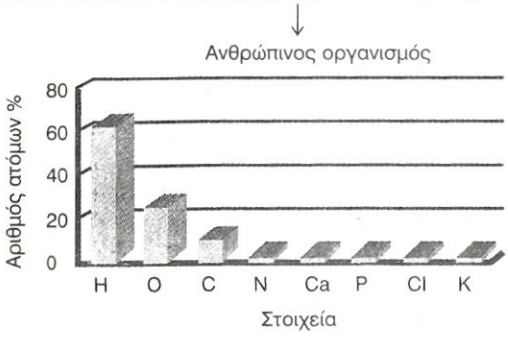
Στο φλοιό της Γης απαντώνται 92 χημικά στοιχεία, από τα οποία 27 μόνο είναι απαραίτητα για τη ζωή. Τέσσερα από αυτά, ο άνθρακας, το υδρογόνο, το οξυγόνο και το άζωτο, είναι τα επικρατέστερα στους οργανισμούς και μάλιστα σε ποσοστό 96% κ.β. Μοιραία λοιπόν γεννιέται το ερώτημα: υπάρχουν άραγε κάποιες ιδιότητες των στοιχείων αυτών που τα κάνουν καταλληλότερα από άλλα για τη σύσταση των οργανισμών; Ας προσπαθήσουμε να απαντήσουμε.

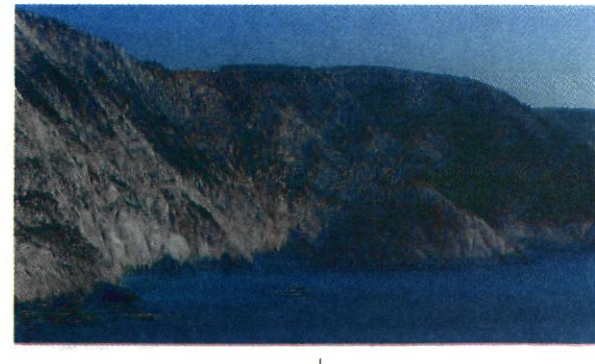
Ο άνθρακας, το υδρογόνο, το οξυγόνο και το άζωτο συμμετέχουν, σε σημαντικό βαθμό, στη σύνθεση των μορίων που αποτελούν βασικά δομικά ή λειτουργικά συστατικά των οργανισμών και παράγονται από τους ίδιους τους οργανισμούς (π.χ. οι πρωτεΐνες). Τα μόρια αυτά είναι απαραίτητο να διακρίνονται από σταθερότητα, και ποικιλομορφία. Σταθερότητα, για να μπορούν να συμμετέχουν στη δημιουργία σταθερών δομών, που είναι απαραίτητες στους οργανισμούς, και ποικιλομορφία, για να εξασφαλίζουν τη μεγάλη ποικιλία λειτουργιών και μορφολογικών χαρακτηριστικών, που είναι συνυφασμένη με το φαινόμενο της ζωής.

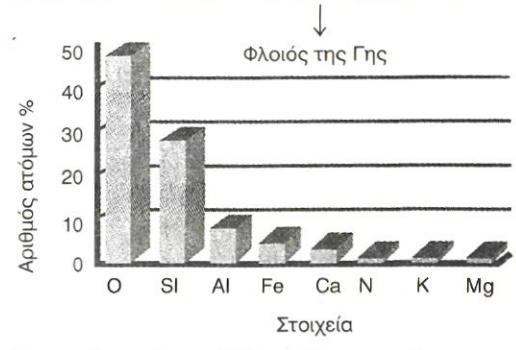
Τα άτομα καθενός από τα τέσσερα στοιχεία που επικρατούν στη δομή των παραπάνω μορίων (C, H, O, N), έχουν τη δυνατότητα να παίρνουν μέρος στο σχηματισμό ομοιοπολικών δεσμών (βλ. ένθετο). Οι δεσμοί αυτοί δημιουργούνται τόσο μεταξύ ατόμων του ίδιου στοιχείου όσο και μεταξύ ατόμων διαφορετικών στοιχείων από αυτά τα τέσσερα. Είναι δεσμοί πολύ ισχυροί και αυτό εξασφαλίζει τη σταθερότητα των μορίων αυτών (βλ. ένθετο). Παράλληλα, αν εξαιρέσουμε το υδρογόνο, καθένα από τα υπόλοιπα τρία μπορεί να συνδέεται, με απλούς ή και πολλαπλούς δεσμούς, με περισσότερα από ένα άτομα του ίδιου ή διαφορετικών στοιχείων. Το άτομο του άνθρακα, για παράδειγμα, μπορεί να ενωθεί με τέσσερα άλλα άτομα άνθρακα και να σχηματίσει αλυσίδες απλές ή με διακλαδώσεις. Μπορεί όμως να ενωθεί και με άτομα άλλων στοιχείων. Υπάρχει έτσι η δυνατότητα δημιουργίας μιας μεγάλης ποικιλίας μορίων.

Από το υπόλοιπο 4% κ.β. των οργανισμών, το μεγαλύτερο μέρος καταλαμβάνεται από τα στοιχεία φώσφορο (P), θείο (S), νάτριο (Na), κάλιο (K), ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), Χλώριο (Cl) και ένα μικρό μέρος, περίπου το 0,01%, από μια σειρά χημικών στοιχείων, που ονομάζονται **ιχνοστοιχεία**. Τα τελευταία, αν και σε μικρό ποσοστό, είναι απαραίτητα για σημαντικές λειτουργίες των οργανισμών.





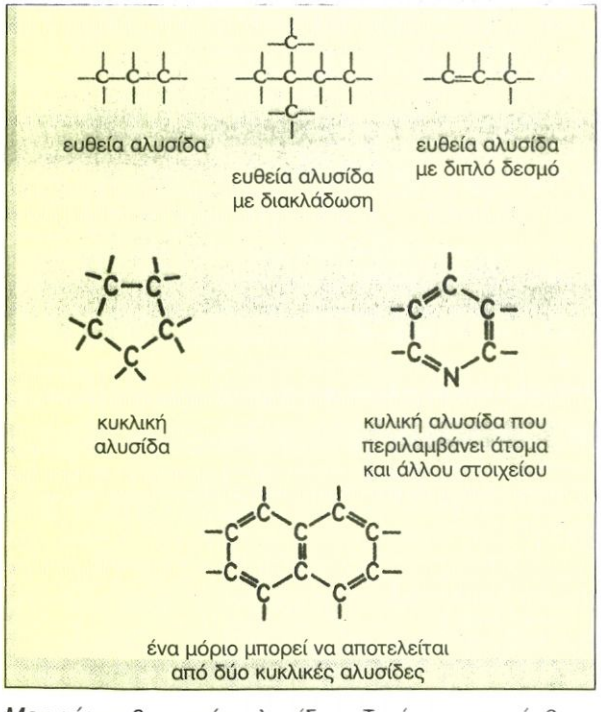




Χημικά στοιχεία που αποτελούν: (α) τους οργανισμούς και (β) το αβιοτικό περιβάλλον. Όπως φαίνεται, η σύσταση, σε επίπεδο χημικών στοιχείων του πλανήτη μας, είναι πολύ διαφορετική από εκείνη των οργανισμών που τον κατοικούν. Οι μοναδικές ιδιότητες των οργανισμών απορρέουν από το συνδυασμό και τη διευθέτηση των στοιχείων αυτών στα βιομόρια.

Πίνακας: Βιολογικός ρόλος ορισμένων χημικών στοιχείων

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΣ ΡΟΛΟΣ
Οξυγόνο	Συστατικό του νερού και όλων των μακρομορίων, απαραίτητο στην αερόβια αναπνοή
Άνθρακας	Συνιστά το σκελετό όλων των οργανικών ενώσεων
Υδρογόνο	Συστατικό του νερού και όλων των μακρομορίων
Άζωτο	Συστατικό των πρωτεϊνών και των νουκλεϊνικών οξέων
Ασβέστιο	Συστατικό των οστών, απαραίτητο στη μυϊκή σύσπαση και την πήξη του αίματος
Φώσφορος	Συστατικό των νουκλεοτιδίων που συναντώνται στα νουκλεϊκά οξέα, καθώς και άλλων με ενεργειακό ενδιαφέρον. Συστατικό των οστών
Κάλιο	Απαραίτητο για τη λειτουργία των νευρικών κυττάρων
Θείο	Συστατικό πολλών πρωτεϊνών
Νάτριο	Απαραίτητο για τη λειτουργία των νευρικών κυττάρων
Μαγνήσιο	Συστατικό πολλών ενζύμων και της χλωροφύλλης
Χλώριο	Απαραίτητο στη ρύθμιση του ισοζυγίου νερού
Σίδηρος	Ιχνοστοιχείο. Συστατικό της αιμοσφαιρίνης, της μυοσφαιρίνης και ορισμένων ενζύμων όπως τα κυτοχρώματα
Ιώδιο	Ιχνοστοιχείο. Συστατικό ορμονών θυρεοειδούς



Μορφές ανθρακικών αλυσίδων. Το άτομο του άνθρακα μπορεί να συνδέεται με περισσότερα από ένα άτομα, ίδια ή διαφορετικά.

Μικρά μόρια και μακρομόρια

Η Χημεία της ζωής είναι «υγρή»

Αν μελετήσουμε προσεκτικά το κύτταρο ενός μονοκύτταρου οργανισμού, όπως είναι η αμοιβάδα, και ένα οποιοδήποτε κύτταρο του πιο σύνθετου οργανισμού, που είναι ο άνθρωπος, θα παρατηρήσουμε ότι έχουν στην πραγματικότητα πολύ περισσότερες ομοιότητες από διαφορές.

Το ανθρώπινο κύτταρο περιβάλλεται από ένα υδατικό διάλυμα, το μεσοκυττάριο υγρό. Η αμοιβάδα ζει στο νερό. Συνεπώς και τα δύο αυτά είδη κυττάρων ζουν είτε άμεσα (αμοιβάδα) είτε έμμεσα (ανθρώπινο κύτταρο) σε υδατικό περιβάλλον. Από αυτό αντλούν όλα τα απαραίτητα συστατικά για την επιβίωσή τους και σ' αυτό εκκρίνουν παράγωγα του μεταβολισμού τους.

Και το εσωτερικό περιβάλλον τους όμως είναι επίσης υδατικό. Το 80% των συστατικών τους αποτελείται από νερό. Οι περισσότερες από τις χημικές ουσίες που υπάρχουν στο εσωτερικό του κυττάρου είναι ευδιάλυτες στο νερό. Αυτό τους επιτρέπει να μετακινούνται από ένα σημείο σε άλλο. Η μετακίνησή τους διευκολύ-

νει την επαφή διαφορετικών ουσιών και αυτό επιτρέπει την πραγματοποίηση των αντιδράσεων που απαιτούν οι διάφορες δραστηριότητες του κυττάρου. Το νερό εξάλλου, όπως θα δούμε στη συνέχεια, συμμετέχει και το ίδιο σε κάποιες βιολογικές αντιδράσεις.

Η ποικιλία των χημικών ενώσεων που συναντάμε μέσα στο κύτταρο είναι πολύ μεγάλη. Ξεκινούν από απλές χημικές ενώσεις μικρού μοριακού βάρους όπως οξέα, βάσεις και άλατα, μέχρι ενώσεις πολύ μεγάλου μοριακού βάρους (μακρομόρια) όπως οι πρωτεΐνες, τα νουκλεϊκά οξέα κ.α. που θα γνωρίσουμε στη συνέχεια. Τα οξέα, οι βάσεις και τα άλατα, παρά το ότι βρίσκονται σε μικρή συγκέντρωση μέσα στο κύτταρο, έχουν μοναδική σημασία για τη ζωή. Αυτό οφείλεται στο ότι διατηρούν σταθερό το pH στο εσωτερικό του κυττάρου και βοηθούν να γίνονται σωστά οι διάφορες κυτταρικές λειτουργίες (βλ. ένθετο).

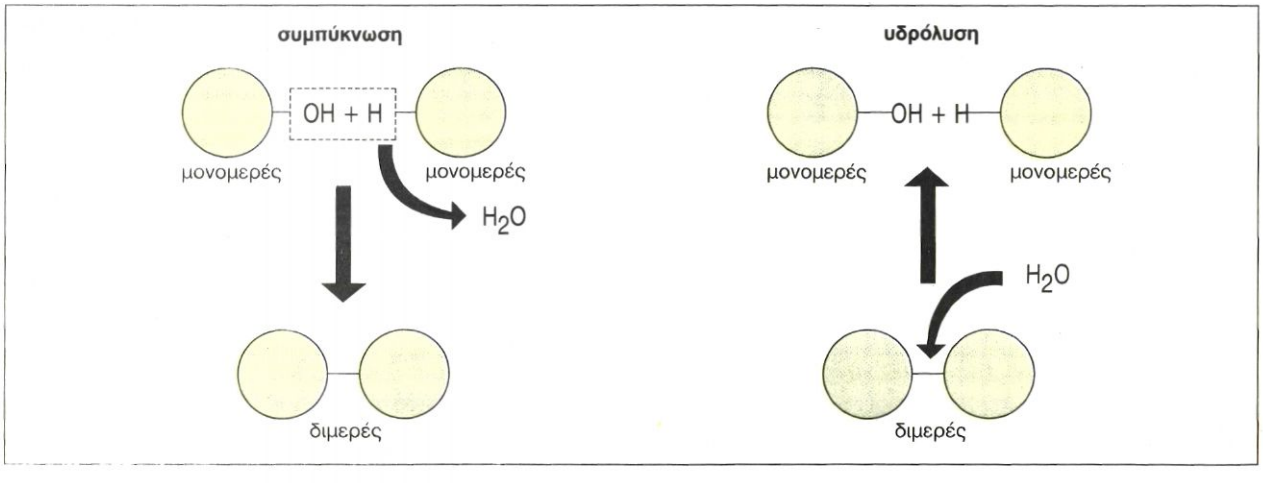
1.2 ΜΑΚΡΟΜΟΡΙΑ

Γενικά στοιχεία

Για μια πρώτη γνωριμία με τα μακρομόρια θα πρέπει να ξεκινήσουμε από τους δομικούς τους λίθους, δηλαδή από την πρώτη ύλη με την οποία αυτά οικοδομούνται. Οι πρωτεΐνες οικοδομούνται από αμινοξέα, τα νουκλεϊνικά οξέα από νουκλεοτίδια, οι πολυσακχαρίτες από μονοσακχαρίτες. Συνεπώς τα αμινοξέα, τα νουκλεοτίδια και οι μονοσακχαρίτες αποτελούν τις μονάδες (*μονομερή*), οι οποίες επαναλαμβανόμενες πολλές φορές συνιστούν τα **μακρομόρια** (*πολυμερή*). Τα μονομερή των διάφορων ειδών μακρομορίων μπορεί να είναι ίδια (πρωτεΐνες) ή διαφορετικά (λιπίδια).

Είναι ενδιαφέρον το γεγονός ότι τα ίδια είδη δομικών λίθων χρησιμοποιούνται από όλους τους οργανισμούς του πλανήτη μας για την οικοδόμηση των διαφορετικών ειδών πολυμερών. Δημιουργείται έτσι εύλογα το ερώτημα: αφού όλοι ανεξαιρέτως οι οργανισμοί συντίθενται από τα ίδια είδη μονομερών, μήπως έχουν και κοινή καταγωγή;

Ωστόσο συνδέονται μεταξύ τους με τον ίδιο πάντοτε βασικό χημικό μηχανισμό, που ονομάζεται **συμπύκνωση**. Κατά τη συμπύκνωση το ένα μονομερές χάνει ένα άτομο υδρογόνου (H), ενώ το άλλο μια υδροξυλομάδα (OH). Αφαιρείται δηλαδή τελικά ένα μόριο νερού και τα δύο μονομερή συνδέονται με **ομοιοπολικό δεσμό**. Το γεγονός ότι έχει επικρατήσει ο ομοιοπολικός δεσμός για τη σύνδεση των μονομερών σε πολυμερή δεν είναι τυχαίο. Ο δεσμός αυτός (βλ. ένθετο) είναι ο πιο διαδεδομένος δεσμός στην έμβια ύλη, λόγω της σταθερότητάς του. Η διάσπαση των μακρομορίων στα μονομερή τους γίνεται με την προσθήκη νερού και ονομάζεται **υδρόλυση**. Σε ορισμένα μακρομόρια συναντώνται επίσης και άλλοι δεσμοί οι οποίοι δεν είναι ομοιοπολικοί. Τέτοιοι είναι οι δεσμοί υδρογόνου, οι δυνάμεις Van der Waals και οι υδρόφοβοι δεσμοί. Οι δεσμοί αυτοί, παρ' όλο που δε συμμετέχουν στη συνένωση των μονομερών, παίζουν, όπως θα δούμε στη συνέχεια, σημαντικό ρόλο στην τελική διαμόρφωση των μακρομορίων.



Σχηματική παράσταση των μηχανισμών συμπύκνωσης και υδρόλυσης.

Η ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΤΩΝ ΒΙΟΜΟΡΙΩΝ

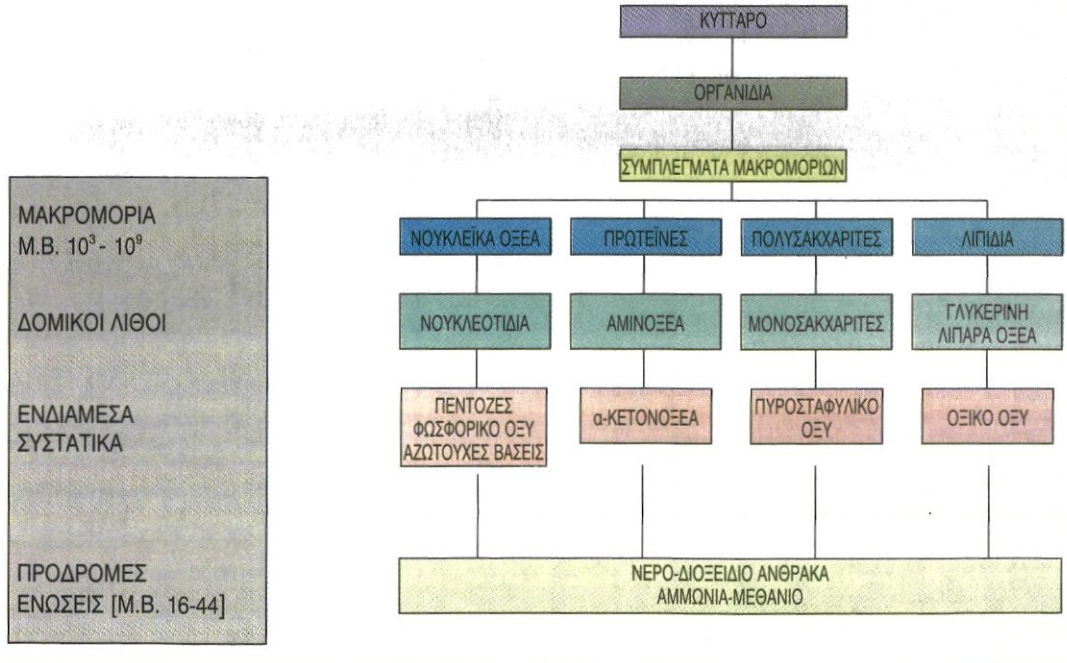
Το πιο εντυπωσιακό ίσως χαρακτηριστικό της ζωής είναι το γεγονός ότι αυτή είναι οργανωμένη σε επίπεδα αυξανόμενης πολυπλοκότητας. Τα άτομα συνιστούν μόρια, τα μόρια, με τη σειρά τους, κυτταρικά οργανίδια, τα τελευταία σχηματίζουν κύτταρα κ.ο.κ. Εσωτερική οργάνωση συναντούμε και σε κάθε επιμέρους επίπεδο και φυσικά στο πιο στοιχειώδες από αυτά, δηλαδή το μοριακό επίπεδο.

Οι χημικές ενώσεις οι οποίες συνθέτουν τους οργανισμούς μπορούν, ανάλογα με το μοριακό βάρος τους, να τοποθετηθούν σε μια ιεραρχική κλίμακα, στην οποία κάθε σκαλί προκύπτει από το προηγούμενο μέσω των αντιδράσεων του μεταβολισμού.

Στη βάση της κλίμακας τοποθετούνται οι μικρότερου μοριακού βάρους ενώσεις, όπως οι H_2O, CO_2, NH_3 (πρόδρομα μόρια), που οι οργανισμοί τις παραλαμβάνουν από το περιβάλλον τους.

Στα επόμενα επίπεδα της κλίμακας συναντάμε ενώσεις αυξανόμενου μοριακού βάρους και πολυπλοκότητας, οι οποίες είναι κατά σειρά: τα ενδιάμεσα συστατικά (οξικό οξύ, πυροσταφυλικό οξύ, πεντόζες κ.ά.), οι δομικοί λίθοι ή μονομερή (αμινοξέα, νουκλεοτίδια κ.ά.), τα μακρομόρια ή πολυμερή (πρωτεΐνες, νουκλεϊκά οξέα κ.ά.) και τα συμπλέγματα των μακρομορίων (γλυκοπρωτεΐνες, νουκλεοπρωτεΐνες κ.ά.). Από το συνδυασμό των τελευταίων προκύπτουν τα οργανίδια του κυττάρου, οπότε προκύπτει το επόμενο επίπεδο οργάνωσης, το κυτταρικό.

Ιεραρχία ανάμεσα στα βιομόρια.



Πρωτεΐνες: Διαδεδομένες, πολύπλοκες και εύθραυστες

Αν μεταξύ των μακρομορίων αναζητούσαμε το πιο διαδεδομένο και πολυδιάστατο στη μορφή και στη λειτουργία του μόριο, αργά ή γρήγορα θα καταλήγαμε στις πρωτεΐνες. Είναι γεγονός ότι ακόμη και σε ένα απλό κύτταρο, όπως αυτό των βακτηρίων, υπάρχουν εκατοντάδες διαφορετικές πρωτεΐνες, καθεμιά από τις οποίες έχει έναν ιδιαίτερο ρόλο στη ζωή του κυττάρου. Αποτελεί είτε δομικό συστατικό του, είτε εξυπηρετεί κάποια συγκεκριμένη λειτουργία του.

Παρά τις διαφορές τους όλες οι πρωτεΐνες, ανεξάρτητα από το πού ανήκουν (σε ιούς, βακτήρια ή σε ανώτερες μορφές ζωής), οικοδομούνται με βάση την ίδια πρώτη ύλη: ένα σύνολο από 20 διαφορετικά αμινοξέα. Από τα 20 αυτά είδη αμινοξέων, ένας διαφορετικός αριθμός κάθε φορά, συνδεόμενα με διαφορετική αλληλουχία, δίνουν μια τεράστια ποικιλία πρωτεϊνικών μορίων. Ο αριθμός των αμινοξέων που είναι διαφορετικός για κάθε πρωτεΐνη μπορεί να ξεπερνά τα 1.000.

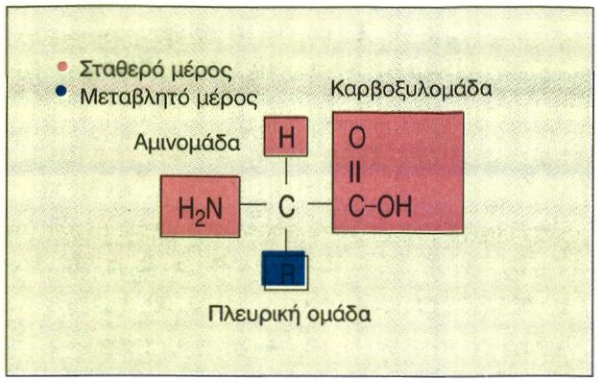
Για να αντιληφθούμε πώς είναι δυνατό να δημιουργούνται διαφορετικά είδη πρωτεϊνών, όταν η πρώτη ύλη, δηλαδή τα αμινοξέα, είναι κοινή για όλους τους οργανισμούς, φτάνει να σκεφτούμε τη γλώσσα μας. Τα 24 γράμματα του ελληνικού αλφάβητου, τοποθετούμενα σε διαφορετικούς συνδυασμούς, αρκούν για να σχηματίσουν χιλιάδες διαφορετικές λέξεις, που χρησιμοποιούμε για την επικοινωνία μας. Με παρόμοιο τρόπο τα 20 διαφορετικά αμινοξέα, τοποθετούμενα σε διαφορετικούς συνδυασμούς, μπορούν να σχηματίσουν έναν τεράστιο αριθμό διαφορετικών πρωτεϊνικών μορίων.

Αμινοξέα

Έχουν ανιχνευτεί πάνω από 170 διαφορετικά αμινοξέα από τα οποία 20 μόνο αποτελούν συστατικά πρωτεϊνών.

Το μόριο των αμινοξέων αποτελείται από δύο τμήματα, ένα σταθερό και ένα μεταβλητό. Το σταθερό αποτελείται από ένα άτομο υδρογόνου, μια αμινομάδα και μια καρβοξυλομάδα, ενωμένα σε ένα κοινό άτομο άνθρακα, ενώ το μεταβλητό αποτελείται από την **πλευρική ομάδα**. Η ομάδα αυτή έχει διαφορετική χημική δομή για κάθε αμινοξύ. Συνεπώς, αν υπάρχουν 20 διαφορετικά αμινοξέα, είναι γιατί υπάρχουν 20 διαφορετικές πλευρικές ομάδες.

Η ένωση δύο αμινοξέων γίνεται με μια αντίδραση συμπύκνωσης (αφαίρεση ενός μορίου νερού) μεταξύ της καρβοξυλομάδας του ενός και της αμινομάδας

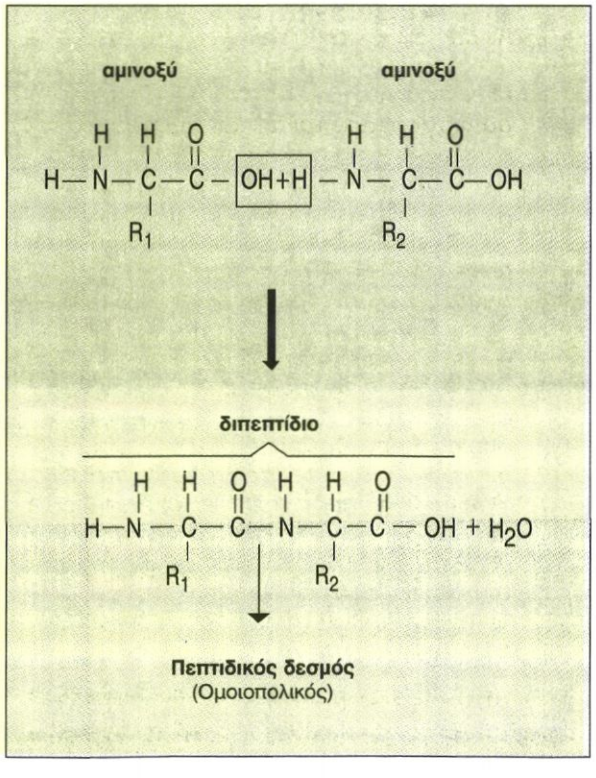


του άλλου. Αποτέλεσμα αυτής της ένωσης είναι ένα **διπεπτίδιο**.

Αν στο 2ο αμινοξύ του διπεπτιδίου συνδεθεί με τον ίδιο τρόπο ένα 3ο αμινοξύ, δημιουργείται ένα **τριπεπτίδιο** κ.ο.κ. Τα πεπτίδια στα οποία ο αριθμός των αμινοξέων υπερβαίνει τα 50 ονομάζονται **πολυπεπτίδια**. Κάθε φορά μπορεί να προστίθεται στην πεπτιδική αλυσίδα οποιοδήποτε από τα 20 διαφορετικά αμινοξέα που απαντώνται στις πρωτεΐνες.

Οργάνωση των πρωτεϊνικών μορίων

Ένα πολυπεπτίδιο, αμέσως μετά τη σύνθεσή του, δεν είναι συνήθως ικανό να εκδηλώσει το βιολογικό του ρόλο. Η ικανότητα αυτή αποκτάται, όταν η πολυπεπτιδική αλυσίδα πάρει την τελική διαμόρφωσή της στο



χώρο. Όπως φαίνεται και στην εικόνα, στα πρωτεϊνικά μόρια διακρίνουμε τέσσερα επίπεδα οργάνωσης.

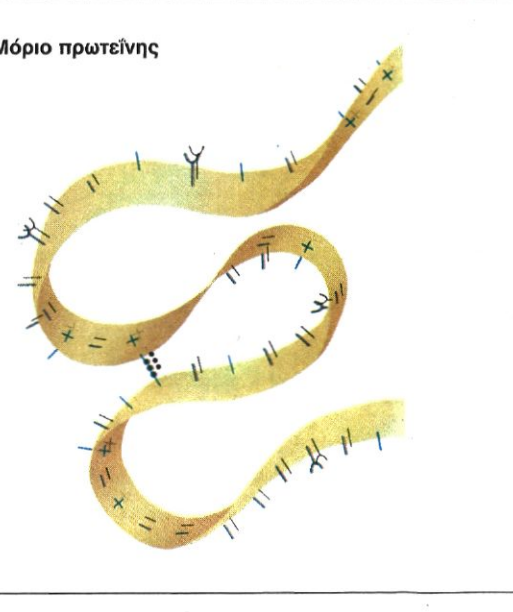
Το πρώτο επίπεδο είναι η **πρωτοταγής δομή**, δηλαδή η αλληλουχία των αμινοξέων στην πολυπεπτιδική αλυσίδα.

Στο δεύτερο επίπεδο, που αποτελεί τη **δευτεροταγή δομή** της πρωτεΐνης, η πολυπεπτιδική αλυσίδα αναδιπλώνεται και αποκτά είτε ελικοειδή είτε πτυχωτή μορφή.

Στο τρίτο επίπεδο η πολυπεπτιδική αλυσίδα, πτυχωτή ή ελικοειδής, αναδιπλώνεται στο χώρο, ώστε να αποκτήσει μια καθορισμένη μορφή την **τριτοταγή δομή**.

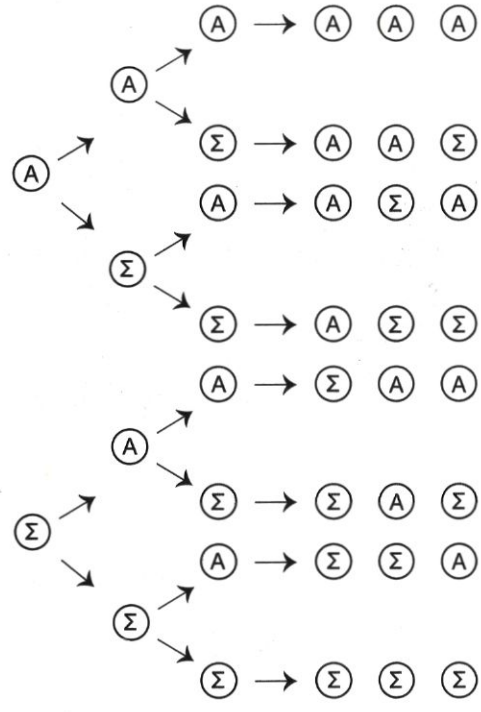
Αν η πρωτεΐνη αποτελείται από μία μόνο πολυπεπτιδική αλυσίδα, το τελικό στάδιο της διαμόρφωσής της είναι η τριτοταγής δομή. Αν όμως αποτελείται από περισσότερες πολυπεπτιδικές αλυσίδες, το τελικό στάδιο είναι η **τεταρτοταγής δομή**, δηλαδή ο συνδυασμός των επιμέρους πολυπεπτιδικών αλυσίδων σε ένα ενιαίο πρωτεϊνικό μόριο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αιμοσφαιρίνη, η οποία συντίθεται από τέσσερις πολυπεπτιδικές αλυσίδες ανά δύο ίδιες.

Η διαμόρφωση του πρωτεϊνικού μορίου στον χώρο, καθορίζεται από την αλληλουχία των αμινοξέων στην πεπτιδική αλυσίδα και σταθεροποιείται από τους δεσμούς που σχηματίζονται ανάμεσα στις ομάδες R των αμινοξέων.

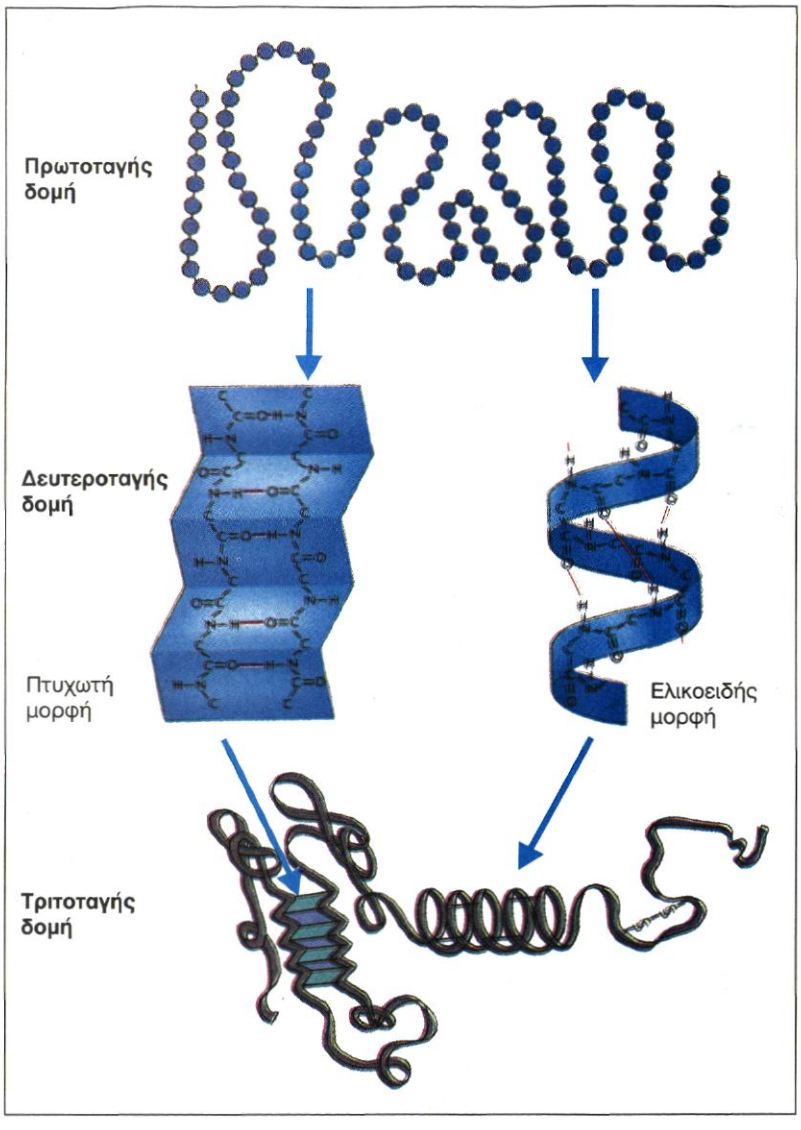


Η ταινία απεικονίζει μια πεπτιδική αλυσίδα. Τα σύμβολα κατά μήκος της απεικονίζουν τις πλευρικές ομάδες των αμινοξέων. Κατά την αναδίπλωση του μορίου αναπτύσσονται χημικοί δεσμοί ανάμεσα σε συγκεκριμένες πλευρικές ομάδες αμινοξέων. Οι δεσμοί αυτοί σταθεροποιούν το μόριο στο χώρο.

ΑΠΟ ΤΑ ΑΜΙΝΟΞΕΑ ΣΤΑ ΠΕΠΤΙΔΙΑ



Αν μας δώσουν, όσες φορές χρειαστούμε, δυο είδη αμινοξέων, την αλανίνη (Α) και τη σερίνη (Σ), και μας θέσουν το ερώτημα: πόσα διαφορετικά τριπεπτίδια μπορούμε να φτιάξουμε χρησιμοποιώντας κάθε είδος αμινοξέος από καμιά ως τρεις φορές; Πώς θα το υπολογίσουμε; Ένας απλός τρόπος να απαντήσουμε στο ερώτημα, χωρίς να μπερδευτούμε από τους ποικίλους συνδυασμούς, είναι να σκεφτούμε ότι κάθε θέση τριπεπτιδίου (1η, 2η, 3η) μπορεί να καταλαμβάνεται από οποιοδήποτε από τα 2 είδη αμινοξέων. Έτσι μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα σύστημα διακλάδωσης, από το οποίο να προκύπτουν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί. Παρατηρούμε ότι προκύπτουν 8, δηλαδή 2^3 διαφορετικοί συνδυασμοί. Συνεπώς, αν αντί για 2 είχες 20 διαφορετικά αμινοξέα που μετέχουν στις πρωτεΐνες και το πολυπεπτίδιο είχε, για παράδειγμα, 100 αμινοξέα, οι πιθανοί συνδυασμοί θα ήταν 20^{100}.



Η πρωτοταγής δομή της πρωτεΐνης καθορίζει την τελική διαμόρφωσή της στο χώρο.

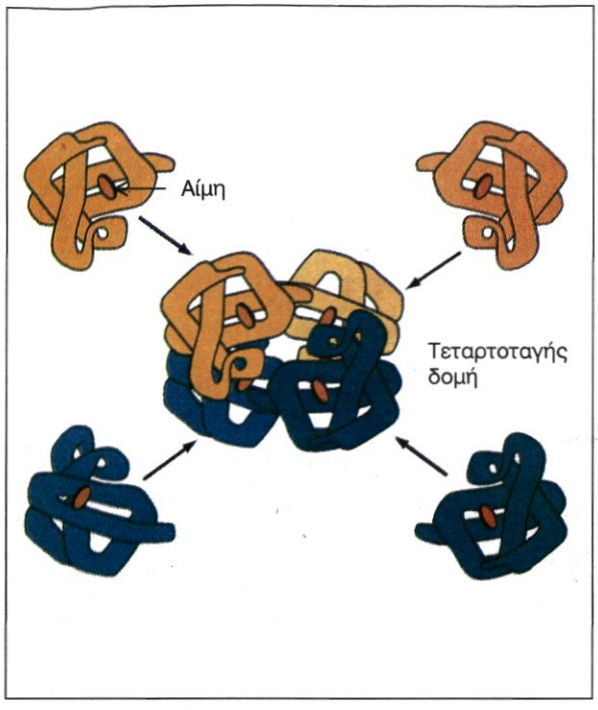
Η δομή των πρωτεϊνικών μορίων καθορίζει τη λειτουργία τους

Σύμφωνα με τους μετριοπαθέστερους υπολογισμούς, στο ανθρώπινο σώμα υπάρχουν περισσότερες από 30.000 διαφορετικές πρωτεΐνες. Καθεμιά από αυτές εμφανίζει έναν ιδιαίτερο βιολογικό ρόλο. Η αιμοσφαιρίνη, για παράδειγμα, είναι επιφορτισμένη με τη μεταφορά του οξυγόνου και του διοξειδίου του άνθρακα. Το κολλαγόνο είναι δομική πρωτεΐνη ιστών (π.χ. του συνδετικού ιστού), ενώ τα ένζυμα επιταχύνουν τις αντιδράσεις που γίνονται μέσα στο κύτταρο.

Από την ποικιλία των διαφορετικών λειτουργιών που κάνουν οι πρωτεΐνες μπορούμε να αντιληφθούμε τη μεγάλη σημασία τους για τα βιολογικά φαινόμενα. Ο μεταβολισμός, ο πολλαπλασιασμός και όλες οι άλλες λειτουργίες των κυττάρων, και κατ' επέκταση των οργανισμών, στηρίζονται στη δράση των εκπληκτικών αυτών «μοριακών εργαλείων».

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Ένα τετραπεπτίδιο αποτελείται από τα αμινοξέα αλανίνη (Α), βαλίνη (Β), ισολευκίνη (Ι) και γλυκίνη (Γ). Πόσες και ποιες είναι οι δυνατές πρωτοταγείς δομές του;



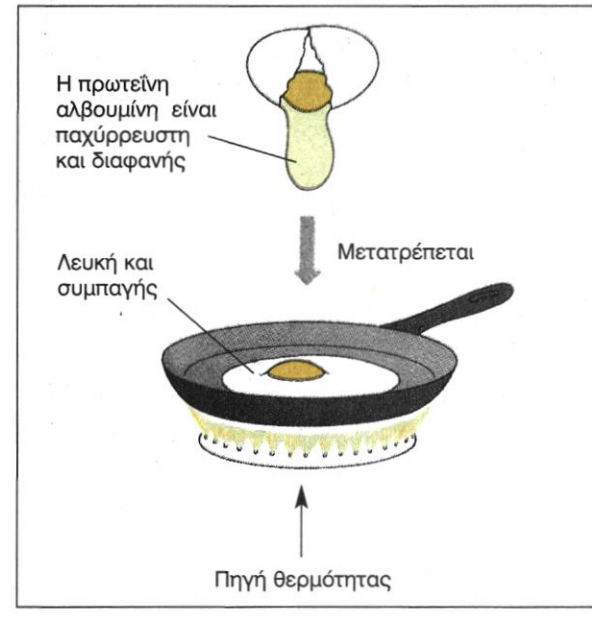
Δομή αιμοσφαιρίνης.

Είναι δικαιολογημένο να αναρωτιόμαστε πώς είναι δυνατό μόρια τα οποία είναι φτιαγμένα από τα ίδια είδη αμινοξέων να παρουσιάζουν τόσο διαφορετικές λειτουργίες. Την απάντηση θα τη βρούμε, αν προσπαθήσουμε να εντοπίσουμε εκείνο το στοιχείο που διαφοροποιεί τις πρωτεΐνες μεταξύ τους. Αυτό είναι η διαφορετική αλληλουχία των αμινοξέων, δηλαδή η διαφορετική πρωτοταγής δομή σε συνδυασμό με τις διαφορετικές ομάδες R. Όταν η σειρά των αμινοξέων είναι διαφορετική, η δυνατότητα να σχηματιστούν δεσμοί ανάμεσα στις πλευρικές ομάδες αμινοξέων βρίσκεται σε διαφορετικά σημεία της πεπτιδικής αλυσίδας. Αυτό οδηγεί σε διαφορετική αναδίπλωση του μορίου, που συνεπάγεται διαφορετική δευτεροταγή και τριτοταγή δομή, επομένως σε διαφορετική διαμόρφωση στο χώρο.

Η τρισδιάστατη δομή μιας πρωτεΐνης καθορίζει τη λειτουργία που αυτή εκτελεί. Αυτό φαίνεται από τις συνέπειες της έκθεσής της σε ακραίες τιμές θερμοκρασίας ή pH. Τότε η πρωτεΐνη υφίσταται αυτό που ονομάζουμε **μετουσίωση**. Σπάζουν δηλαδή οι δεσμοί που έχουν αναπτυχθεί μεταξύ των πλευρικών ομάδων, καταστρέφεται η τρισδιάστατη δομή της και η πρωτεΐνη χάνει τη λειτουργικότητά της.
Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η αλλαγή της υφής του ασπραδιού του αβγού κατά τη θέρμανση. Από διαυγές διάλυμα πρωτεϊνικών μορίων, γίνεται λευκό, αδιαφανές και συμπαγές. Αυτό οφείλεται στο ότι η πρωτεΐνη που περιέχει (αλβουμίνη) μετουσιώνεται.

Σ' αυτή την κατάσταση είναι εμφανές ότι δεν μπορεί να επιτελέσει πλέον τη λειτουργία για την οποία υπάρχει ως συστατικό του αβγού.

Οι πρωτεΐνες, με κριτήριο τη λειτουργία τους, διακρίνονται σε δύο ευρύτερες κατηγορίες. Τις **δομικές**, που αποτελούν δομικά συστατικά των κυττάρων και κατ' επέκταση των οργανισμών, και τις **λειτουργικές**, που συμβάλλουν στις διάφορες λειτουργίες.



Η αύξηση της θερμοκρασίας κατά το τηγάνισμα του αβγού έχει «ορατά» αποτελέσματα.

Ο ιστός αυτής της αράχνης είναι φτιαγμένος από πρωτεΐνη.

Πίνακας: Διάκριση των πρωτεϊνών και λειτουργίες που αυτές επιτελούν.

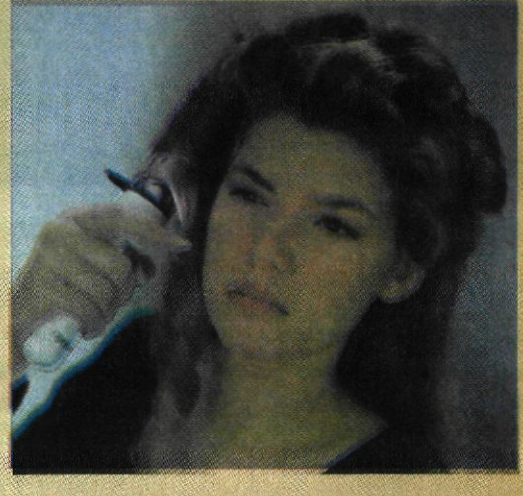
ΕΙΔΟΣ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
Α. ΔΟΜΙΚΕΣ		
	Κολλαγόνο	Συστατικό του συνδετικού ιστού (οστά, χόνδροι, τένοντες)
	Ελαστίνη	Συστατικό των συνδέσμων των οστών
Β. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΕΣ		
ΜΕΤΑΦΕΡΟΥΣΕΣ	Αιμοσφαιρίνη	Μεταφορά οξυγόνου και διοξειδίου του άνθρακα στο αίμα σπονδυλωτών
	Μυοσφαιρίνη	Μεταφορά οξυγόνου και προσωρινή αποθήκευση στους μυς σπονδυλωτών
ΑΜΥΝΤΙΚΕΣ	Αντισώματα	Σύνδεση με κάθε ξένο για τον οργανισμό «σώμα» και εξουδετέρωσή του
	Ινωδογόνο	Συμμετοχή στη διαδικασία πήξης του αίματος
ΣΥΣΤΑΛΤΕΣ	Μυοσίνη	Συστατικό των μυϊκών κυττάρων
	Ακτίνη	Συστατικό των μυϊκών κυττάρων
ΑΠΟΘΗΚΕΥΤΙΚΕΣ	Καζεΐνη	Αποθήκη ασβεστίου στο γάλα
	Αλβουμίνη	Πηγή αμινοξέων για το αναπτυσσόμενο έμβρυο (στο ασπράδι των αβγών)
ΟΡΜΟΝΙΚΕΣ	Ινσουλίνη	Ρύθμιση του σακχάρου του αίματος. Εκκρίνεται από το πάγκρεας
	Γλυκαγόνη	Ρύθμιση του σακχάρου του αίματος. Εκκρίνεται από το πάγκρεας
ΕΝΖΥΜΙΚΕΣ	Εξοκινάση	Ένζυμο της γλυκόλυσης
	RNA πολυμεράση	Ένζυμο της μεταγραφής του DNA σε RNA

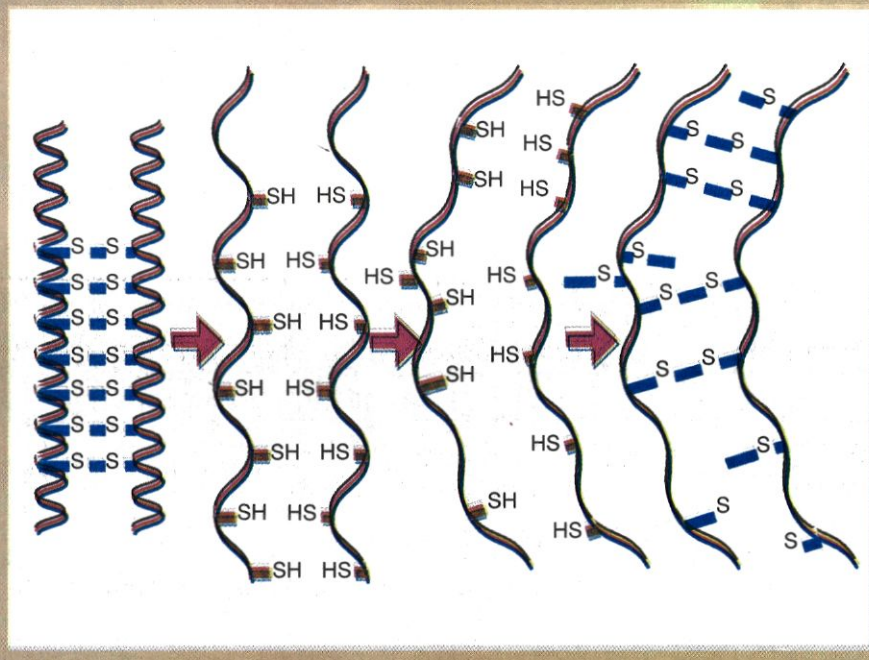
ΤΟ ΚΟΜΜΩΤΗΡΙΟ ΚΑΙ ΟΙ... ΧΗΜΙΚΟΙ ΔΕΣΜΟΙ

Τα μαλλιά του ανθρώπου αποτελούνται σε μεγάλο ποσοστό από πρωτεϊνικά μόρια, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου. Οι δεσμοί αυτοί δεν είναι ισχυροί και σπάνε εύκολα, όταν τα μόρια θερμανθούν. Αν λοιπόν τα μαλλιά τυλιχτούν γύρω από μια θερμαινόμενη βούρτσα κομμωτηρίου, εξαιτίας της θερμότητας σπάζουν οι δεσμοί υδρογόνου, οι οποίοι συνδέουν τα πρωτεϊνικά μόρια που αποτελούν την τρίχα. Αν στη συνέχεια οι τρίχες κρυώσουν με αυτό το σχήμα, δημιουργούνται νέοι δεσμοί υδρογόνου, οι οποίοι συνδέουν μεταξύ τους διαφορετικά τα πρωτεϊνικά μόρια, σταθεροποιώντας το νέο αυτό σχήμα.

Δυστυχώς οι νέοι δεσμοί σιγά σιγά σπάζουν, κυρίως λόγω της υγρασίας της ατμόσφαιρας, και τα μαλλιά επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση.

Οι δεσμοί υδρογόνου και οι «μπούκλες» στα μαλλιά.





Ο αναγωγικός παράγοντας σπάζει τους δισουλφιδικούς δεσμούς.

Τα πρωτεϊνικά μόρια, που αποτελούν το κυριότερο συστατικό των μαλλιών μας, περιέχουν σε μεγάλο ποσοστό στο μόριό τους το αμινοξύ κυστεΐνη. Ανάμεσα σε μόρια κυστεΐνης, που βρίσκονται σε διαφορετικά σημεία των πεπτιδικών αλυσίδων, σχηματίζονται δισουλφιδικοί δεσμοί. Αυτοί οι δεσμοί είναι σε μεγάλο βαθμό υπεύθυνοι για το σχήμα των τριχών. Οι τρίχες των μαλλιών είναι ίσιες ή κατσαρές εξαιτίας των δισουλφιδικών δεσμών που περιέχουν τα πρωτεϊνικά μόρια, και αυτοί οι δεσμοί τα βοηθούν να διατηρούν το ιδιαίτερο σχήμα τους. Όταν κάνουμε «περμανάντ» στα μαλλιά μας, αρχικά αυτά υφίστανται επεξεργασία με μια χημική ουσία (αναγωγική), η οποία σπάει μερικούς από τους -S-S- δεσμούς.

Μετά από αυτό τα μόρια γίνονται πιο «ελαστικά» και τα μαλλιά μπορούν να πάρουν το επιθυμητό σχήμα. Χρησιμοποιώντας τα «ρόλεϊ» του κομμωτηρίου, τους δίνουμε το επιθυμητό σχήμα. Στη συνέχεια προστίθεται μια άλλη ουσία (οξειδωτική), η οποία αναστρέφει την προηγούμενη αντίδραση, οδηγώντας στο σχηματισμό νέων δισουλφιδικών δεσμών, που συγκρατούν τώρα τα μόρια στις νέες τους θέσεις. Με τον ίδιο τρόπο γίνεται και το ίσιωμα των σγουρών μαλλιών.
Η «περμανάντ» (permanent = μόνιμος) δεν μπορεί φυσικά να είναι πραγματικά μόνιμη. Τα μαλλιά σιγά σιγά μακραίνουν και πάλι, και τα πρωτεϊνικά μόρια του καινούριου μέρους της τρίχας έχουν τους ίδιους δισουλφιδικούς δεσμούς με τα αρχικά...

Νουκλεϊκά οξέα: νήματα και αγγελιαφόροι της ζωής

Οι λειτουργίες των οργανισμών πραγματοποιούνται χάρη στις πρωτεΐνες, ενώ ο βιολογικός ρόλος των πρωτεϊνών καθορίζεται από τη μορφή τους. Αν η μορφή τους είναι αποτέλεσμα της πρωτοταγούς δομής τους, εύλογα γεννιέται απορία για το ποιος καθορίζει αυτή την πρωτοταγή δομή.

Η απάντηση στο ερώτημα δε δόθηκε με μιάς. Χρειάστηκε να περάσουν περισσότερα από 50 χρόνια, από τότε που ο Ελβετός γιατρός Φ. Μίσερ απομόνωσε νουκλεϊκά οξέα από πυρήνες κυττάρων, ώσπου να μελετηθεί πλήρως η δομή τους. Αποκαλύφτηκε με τις μελέτες αυτές η ικανότητα των νουκλεϊκών οξέων να καθορίζουν την παραγωγή των πρωτεϊνών και έτσι να ελέγχουν όλες τις λειτουργίες και τα κληρονομικά γνωρίσματα των οργανισμών.

Υπάρχουν δύο είδη νουκλεϊκών οξέων, το δεσοξυριβονουκλεϊκό και το ριβονουκλεϊκό, που είναι γνωστότερα με τις συντομογραφίες **DNA** και **RNA** αντίστοιχα.

Πρώτο βήμα για τη μελέτη των νουκλεϊκών οξέων είναι η μελέτη των δομικών τους λίθων, των **νουκλεοτιδίων**.

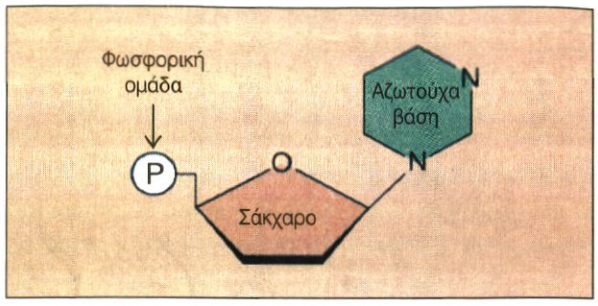
Νουκλεοτίδια

Τα νουκλεοτίδια προέρχονται από τη σύνδεση, με ομοιοπολικό δεσμό, τριών διαφορετικών μορίων. Μιας **πεντόζης** (σάκχαρο με πέντε άτομα άνθρακα), ενός μορίου φωσφορικού οξέος και μιας οργανικής **αζωτούχας βάσης**.

Τα νουκλεοτίδια του DNA περιέχουν την πεντόζη **δεσοξυριβόζη** (δεσοξυριβονουκλεοτίδια), ενώ τα νουκλεοτίδια του RNA περιέχουν την πεντόζη **ριβόζη** (ριβονουκλεοτίδια).

Οι αζωτούχες βάσεις των νουκλεοτιδίων είναι η **αδενίνη** (**A**), η **γουανίνη** (**G**), η **θυμίνη** (**T**), η **κυτοσίνη** (**C**) και η **ουρακίλη** (**U**). Η αδενίνη, η γουανίνη και η κυτοσίνη συναντώνται και στα δύο είδη νουκλεϊκών οξέων. Η θυμίνη υπάρχει μόνο στο DNA, ενώ η ουρακίλη μόνο στο RNA.

Δύο μονοφωσφορικά νουκλεοτίδια ενώνονται με ομοιοπολικό δεσμό, για να αποτελέσουν ένα δινουκλεοτίδιο. Αν στο δινουκλεοτίδιο προστεθεί ένα ακόμη νουκλεοτίδιο, τότε δημιουργείται ένα τρινουκλεοτίδιο. Αν προστεθεί ένα ακόμη, τότε δημιουργείται ένα τετρανουκλεοτίδιο κ.ο.κ. Αν η διαδικασία αυτή επαναληφθεί χιλιάδες φορές, τότε δημιουργείται ένα **πολυνουκλεοτίδιο**.



Σχηματική απεικόνιση ενός τύπου νουκλεοτιδίου.

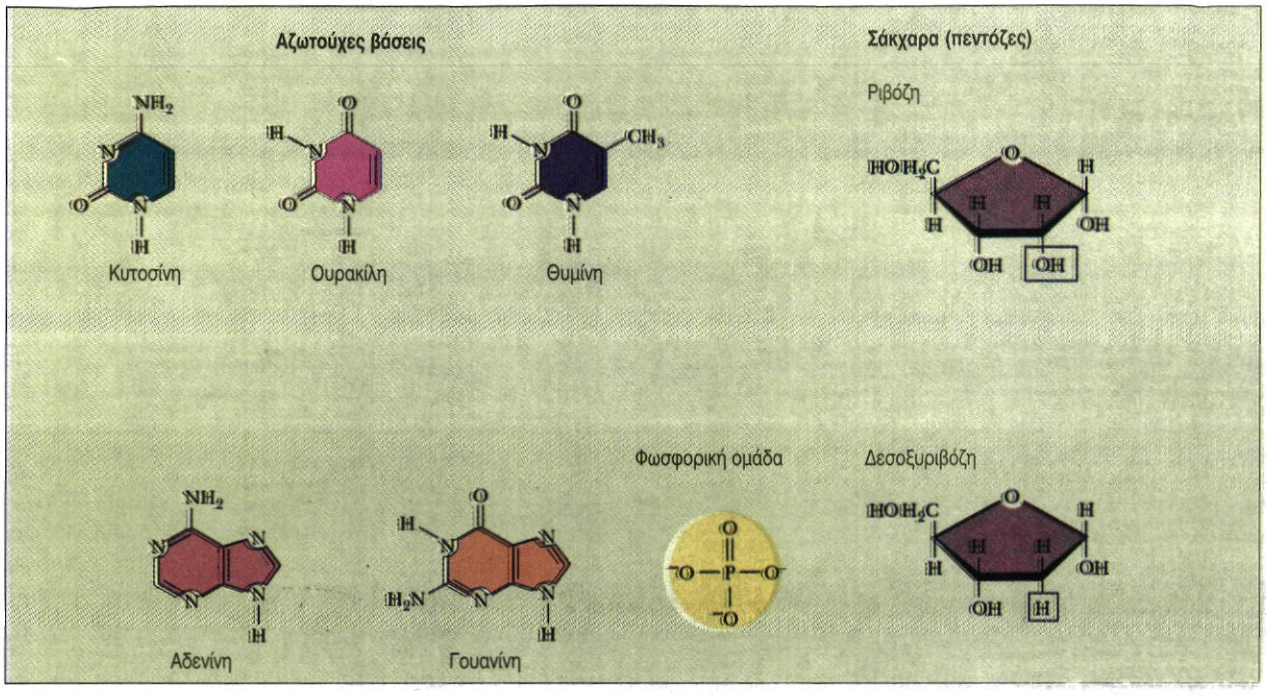
Οι αλυσίδες των νουκλεϊκών οξέων έχουν συνήθως μεγάλο μήκος. Σ' αυτό οφείλεται και το μεγάλο μοριακό τους βάρος. Το μεγάλο μήκος δικαιολογεί επίσης τη μοναδική ιδιότητα του DNA, να είναι ο φορέας όλων των πληροφοριών που χρειάζεται ένας οργανισμός, για να οικοδομηθεί και να λειτουργήσει. Επειδή κάθε νουκλεοτίδιο του DNA μπορεί να περιέχει οποιαδήποτε από τις βάσεις A, T, G, C, υπάρχει, όπως και στις πρωτεΐνες με τα αμινοξέα, ένας απεριόριστος αριθμός διαφορετικών αλληλουχιών νουκλεοτιδίων, που καθεμιά αντιπροσωπεύει και μια διαφορετική πολυνουκλεοτιδική αλυσίδα, δηλαδή ένα διαφορετικό συνδυασμό πληροφοριών. Με 1.000, για παράδειγμα, νουκλεοτίδια μπορούν να προκύψουν 4^{1000} διαφορετικές πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες, καθεμιά από τις οποίες έχει τη δική της αλληλουχία νουκλεοτιδίων.

Δομή και βιολογικός ρόλος του DNA

Τα πολυνουκλεοτίδια, όπως και οι πρωτεΐνες, εκτός από την πρωτοταγή δομή τους, διαθέτουν και διάταξη στο χώρο (στερεοδιάταξη). Το 1953 οι Τ. Γουάτσον και Φ. Κρικ παρουσίασαν ένα μοντέλο για τη δομή του DNA, που ονομάστηκε **μοντέλο της διπλής έλικας**. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, που σήμερα είναι αποδεκτό από ολόκληρη την επιστημονική κοινότητα,

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

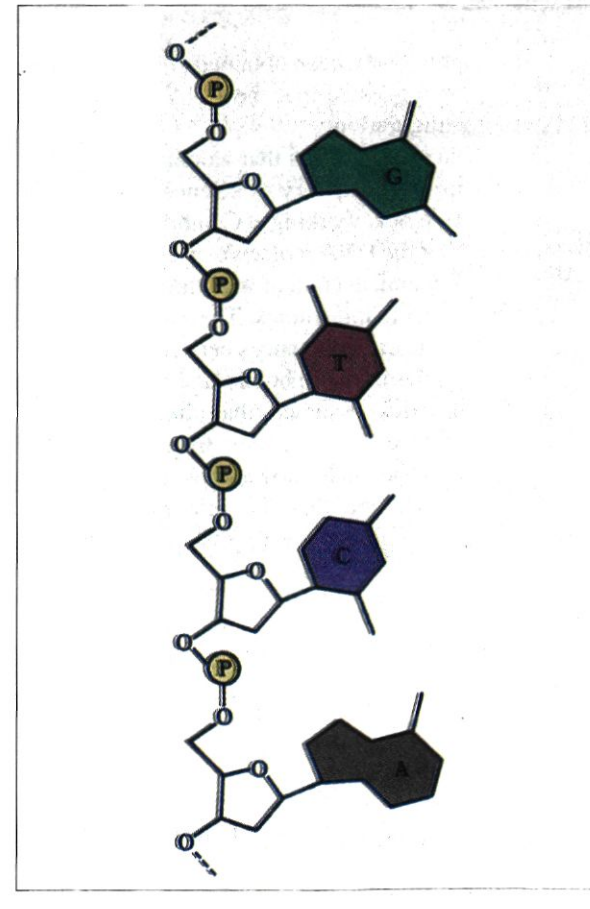
Πόσα μόρια νερού αποσπάστηκαν, ώστε να σχηματιστεί το μόριο ενός νουκλεϊνικού οξέος που αποτελείται από 60 νουκλεοτίδια;



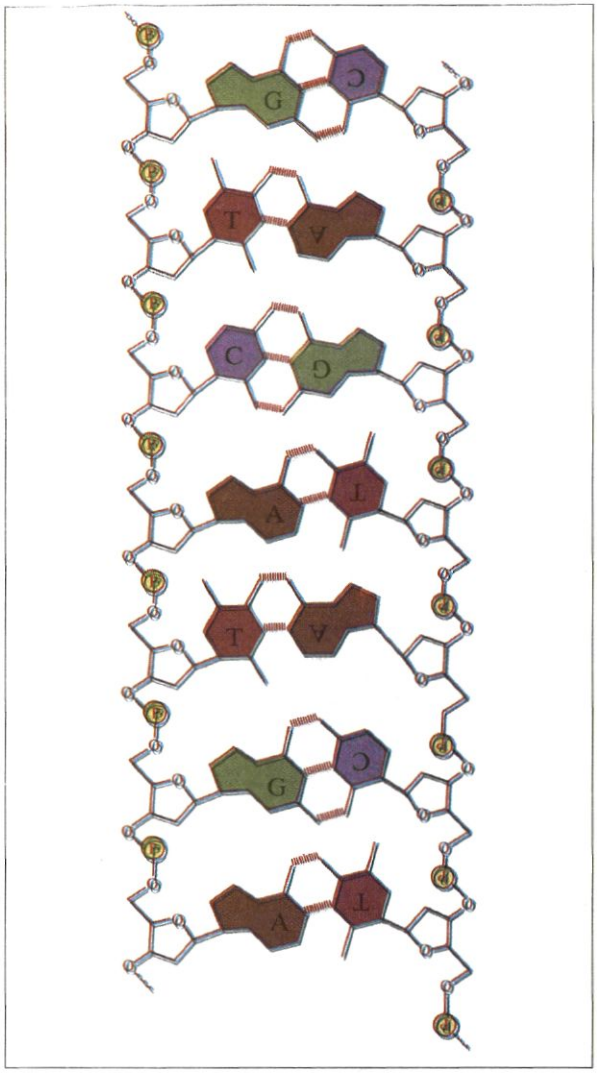
Δομικά συστατικά των νουκλεοτιδίων: πεντόζες, αζωτούχες βάσεις, φωσφορική ομάδα.

το μόριο του DNA έχει τα ακόλουθα βασικά χαρακτηριστικά:

- Αποτελείται από δύο πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες, τους κλώνους, που σχηματίζουν διπλή έλικα.
- Οι αζωτούχες βάσεις σε κάθε κλώνο είναι κάθετες στον κύριο άξονα του μορίου και προεξέχουν προς το εσωτερικό του.
- Οι δύο κλώνοι συγκρατούνται μεταξύ τους με δεσμούς υδρογόνου, που σχηματίζονται μεταξύ των αζωτούχων βάσεών τους. Τα ζευγάρια των αζωτούχων βάσεων, ανάμεσα στις οποίες μπορούν να σχηματιστούν δεσμοί υδρογόνου, είναι καθορισμένα: η αδενίνη με τη θυμίνη και η γουανίνη με την κυτοσίνη. Αυτό σημαίνει δηλαδή ότι απέναντι σε κάθε αδενίνη βρίσκεται πάντοτε μια θυμίνη και αντίστροφα, ενώ απέναντι σε κάθε γουανίνη βρίσκεται μια κυτοσίνη και αντίστροφα. Οι βάσεις αδενίνη / θυμίνη και γουανίνη / κυτοσίνη, μεταξύ των οποίων σχηματίζονται δεσμοί υδρογόνου, χαρακτηρίζονται ως **συμπληρωματικές**. Όπως θα διαπιστώσουμε σε επόμενο κεφάλαιο, χάρη στη συμπληρωματικότητα αυτή το μόριο μπορεί να αντιγράφεται με ακρίβεια, αλλά και να ασκεί τον κατευθυντήριο ρόλο του σε όλες τις δραστηριότητες του κυττάρου. Μεταξύ των βάσεων A και T σχηματίζονται δύο δεσμοί υδρογόνου, ενώ μεταξύ των βάσεων G και C σχηματίζονται τρεις.



Τμήμα πολυνουκλεοτιδικής αλυσίδας.

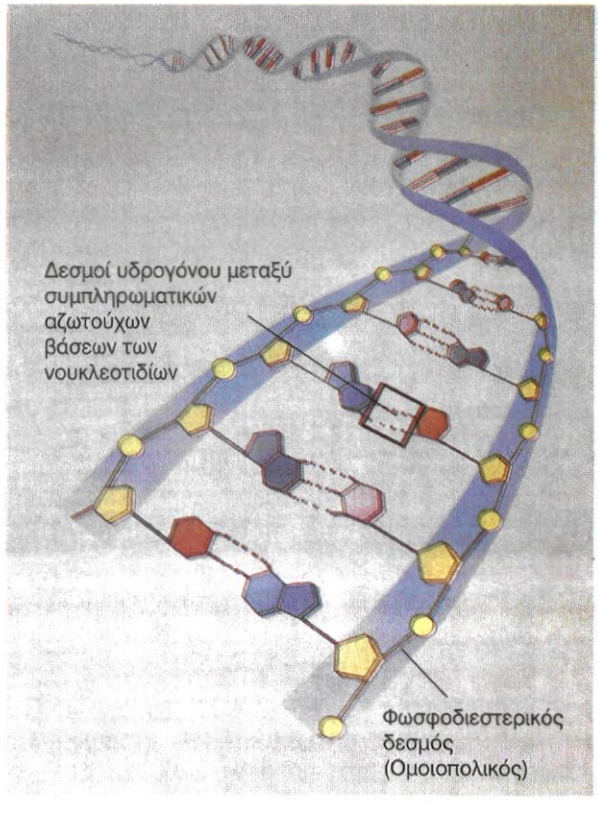


Τμήμα μορίου DNA. Το DNA είναι ένα δίκλωνο μόριο με τη μορφή έλικας. Σχηματίζεται από 4 διαφορετικά είδη νουκλεοτιδίων καθένα, από τα οποία περιέχει μια από τις βάσεις A, T, G, C. Ανάμεσα στις συμπληρωματικές βάσεις των απέναντι κλώνων σχηματίζονται δεσμοί υδρογόνου.

Τα μόρια του DNA φέρουν τις πληροφορίες για το σύνολο των χαρακτηριστικών που εκφράζονται σε ένα κύτταρο και, κατ' επέκταση, σε έναν οργανισμό. Σε επόμενο κεφάλαιο θα διαπιστώσουμε τον τρόπο με τον οποίο το μόριο του DNA είναι ικανό:

- Να φέρει τις γενετικές πληροφορίες.
- Να ελέγχει μέσω αυτών κάθε κυτταρική δραστηριότητα.
- Να μεταβιβάζει τις πληροφορίες αναλλοίωτες από γενιά σε γενιά.
- Να επιτρέπει τη δημιουργία γενετικής ποικιλομορφίας.

Το σύνολο των μορίων του DNA ενός κυττάρου αποτελεί το **γενετικό του υλικό**. Στα ευκαρυωτικά κύτταρα, τα κύτταρα δηλαδή που έχουν πυρήνα, το DNA βρίσκεται μέσα σ' αυτόν (πυρήνα) ως συστατικό των χρωμοσωμάτων. Ένα μικρό ποσοστό υπάρχει και στα μιτοχόνδρια και στους χλωροπλάστες. Τα οργανί-



Οι δεσμοί υδρογόνου που αναπτύσσονται μεταξύ των συμπληρωματικών αζωτούχων βάσεων στο δίκλωνο μόριο του DNA σταθεροποιούν τη χωροδιάταξη του μορίου.

Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ ΤΟΥ DNA

Στις αρχές του 1950 ένας νεαρός Αμερικανός επιστήμονας, ο Τ. Γουάτσον, πήγε στο Πανεπιστήμιο του Καίμπριτζ, στην Αγγλία, προκειμένου να μελετήσει προβλήματα μοριακής (κρυσταλλογραφικής) δομής του DNA. Στο εργαστήριο του Καβέντις συνάντησε έναν Άγγλο φυσικό, το Φ. Κρικ, που, όπως και ο ίδιος, ενδιαφερόταν για τη μελέτη του DNA. Γρήγορα άρχισαν να δουλεύουν μαζί για την ανακάλυψη της δομής του μορίου αυτού. Αν και δεν προχώρησαν οι ίδιοι σε πειράματα, κατάφεραν να συνδυάσουν και να συνθέσουν τα ως τότε δεδομένα σε ένα ενιαίο μοντέλο.

Από προγενέστερες έρευνες άλλων ερευνητών γνώριζαν ότι το μόριο περιέχει νουκλεοτίδια, που αποτελούνται από το σάκχαρο δεσοξυριβόζη, μια φωσφορική ομάδα και μια αζωτούχα βάση, που είναι πουρίνη ή πυριμιδίνη. Οι μελέτες με ακτίνες Χ είχαν στο μεταξύ αποδείξει ότι και το DNA, όπως και μερικές πρωτεΐνες, παρουσιάζει μορφή έλικας.

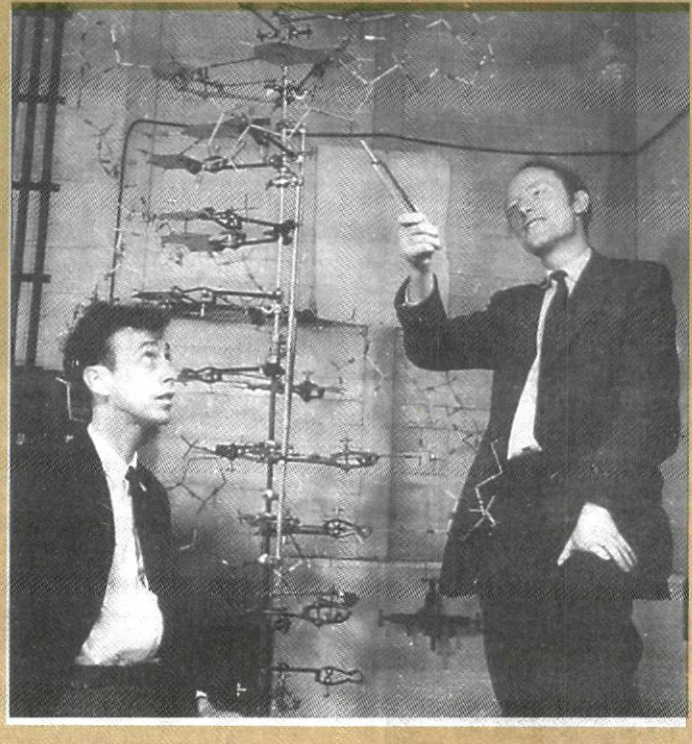
Ο Λ. Πάουλινγκ, ένας ήδη αναγνωρισμένος επιστήμονας, είχε καταλήξει στο ότι, όπως και στις πρωτεΐνες, η ελικοειδής δομή του DNA συγκρατείται λόγω δεσμών υδρογόνου, που αναπτύσσονται μεταξύ διαδοχικών στροφών του μορίου.

Τα δεδομένα εξάλλου της εργασίας ενός άλλου επιστήμονα, του Ε. Χάργκαφ, έδειχναν ότι η αναλογία αδενινών - θυμινών είναι 1:1, όπως επίσης ότι 1:1 είναι και η αναλογία γουανινών - κυτοσινών, που υπάρχουν στο μόριο.

Από το ισάριθμο των αδενινών με τις θυμίνες και των γουανινών με τις κυτοσίνες οι Τ. Γουάτσον και Φ. Κρικ οδηγήθηκαν στο συμπέρασμα ότι τα μέλη κάθε ζευγαριού είναι συμπληρωματικά ή, με άλλα λόγια, ότι οι δύο κλώνοι συγκρατούνται με δεσμούς υδρογόνου, που αναπτύσσονται μεταξύ των συμπληρωματικών βάσεων.

Για την εργασία τους αυτή τιμήθηκαν το 1962 με βραβείο Νόμπελ.

Είναι χαρακτηριστικό ότι ο Φ. Κρικ, έγραφε κάποτε: «Θυμάμαι μια τραγουδίστρια σε ένα νυκτερινό κέντρο στη Χονολουλού, που μου έλεγε πως, όταν ήταν μαθήτρια, καταράστηκε το Γουάτσον κι εμένα για τα δύσκολα πράγματα που έπρεπε να μάθει για το DNA. Στην πραγματικότητα, «οι ιδέες που χρειάζονται, για να καταλάβει κανείς τη δομή, όταν αυτή παρουσιάζεται σωστά, είναι πολύ εύκολες, αφού δεν παραβιάζουν την κοινή λογική, πράγμα που συμβαίνει με την κβαντομηχανική ή τη σχετικότητα».



δια αυτά έχουν τη δυνατότητα να πολλαπλασιάζονται ανάλογα με τις ανάγκες του κυττάρου και ανεξάρτητα από αυτό. Μπορούν επίσης και να συνθέτουν τα ίδια κάποιες από τις πρωτεΐνες τους.

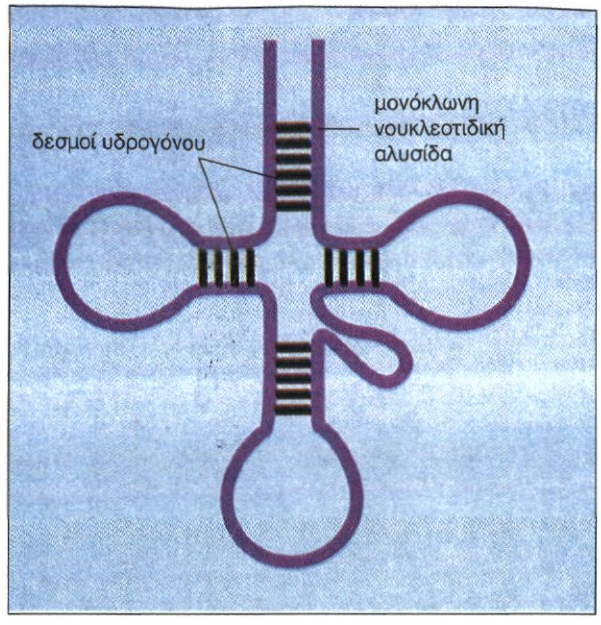
Δομή και βιολογικός ρόλος του RNA

Το δεύτερο είδος νουκλεϊκού οξέος, το RNA, εκτός από τις διαφορές που έχει από το DNA στη σύσταση (η πεντόζη είναι ριβόζη αντί δεσοξυριβόζη και η μία αζωτούχα βάση είναι ουρακίλη αντί θυμίνη), διαφέρει και στη δομή. Ενώ το DNA είναι ένα δίκλωνο μόριο, το RNA είναι κατά βάση μονόκλωνο. Αποτελείται δηλαδή από μια απλή πολυριβονουκλεοτιδική αλυσίδα. Ωστόσο, μερικές φορές, αυτό το μονόκλωνο μόριο αναδιπλώνεται σε ορισμένα σημεία. Η διαμόρφωση αυτή μπορεί να σταθεροποιηθεί με δεσμούς υδρογόνου, που σχηματίζονται ανάμεσα σε βάσεις που είναι συμπληρωματικές μεταξύ τους (G-C, A-U), παρά το ότι στην περίπτωση αυτή ανήκουν στην ίδια αλυσίδα (κλώνο).

Το **RNA** εμφανίζεται με τρεις διαφορετικούς τύπους. Το **αγγελιαφόρο RNA** (mRNA), το **μεταφορικό RNA** (tRNA) και το **ριβοσωμικό RNA** (rRNA). Καθένας από τους τύπους αυτούς έχει έναν ιδιαίτερο βιολογικό ρόλο. Το αγγελιαφόρο RNA μεταφέρει τη γενετική πληροφορία από το DNA, όπου είναι κωδικοποιημένη, στα ριβοσώματα, όπου γίνεται η σύνθεση των πρωτεϊνών. Το μεταφορικό RNA μεταφέρει στα ριβοσώματα τα αμινοξέα, προκειμένου αυτά να χρησιμοποιηθούν στη σύνθεση των πρωτεϊνών. Τέλος το ριβοσωμικό RNA, μαζί με πρωτεΐνες, αποτελεί δομικό συστατικό των ριβοσωμάτων.

Το RNA βρίσκεται τόσο στον πυρήνα όσο και στο κυτταρόπλασμα, είτε ως συστατικό των ριβοσωμάτων (rRNA) είτε ελεύθερο (mRNA, tRNA). Υπάρχει βέβαια και στα μιτοχόνδρια και στους χλωροπλάστες.

Πολλοί επιστήμονες πιστεύουν ότι το γενετικό υλικό των πρώτων οργανισμών ήταν το RNA. Το DNA θα πρέπει, κατά την άποψή τους, να εμφανίστηκε αργότερα, ως μηχανισμός προστασίας της γενετικής πληροφορίας από την καθημερινή χρήση για τις ανάγκες του κυττάρου. Σήμερα γνωρίζουμε ότι υπάρχουν ιοί που έχουν RNA για γενετικό υλικό (RNA ιοί).



Σχηματική παράσταση ενός tRNA.

Υδατάνθρακες

Οι υδατάνθρακες αποτελούν πηγή ενέργειας για το κύτταρο. Σημαντικότεροι από αυτούς είναι η γλυκόζη, το άμυλο και το γλυκογόνο. Κάποιοι υδατάνθρακες είναι δομικά συστατικά κυττάρων. Ο πιο διαδεδομένος από τους δομικούς υδατάνθρακες είναι η κυτταρίνη, που αποτελεί το βασικό συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος των φυτικών κυττάρων.

Οι υδατάνθρακες διακρίνονται σε **μονοσακχαρίτες**, **δισακχαρίτες** και **πολυσακχαρίτες**.

Μονοσακχαρίτες

Διακρίνονται σε τριόζες (με 3 άτομα C), πεντόζες (με 5 άτομα C) και εξόζες (με 6 άτομα C). Από τους μονοσακχαρίτες πιο διαδεδομένες είναι οι πεντόζες και οι εξόζες (βλ. πίνακα). Γενικώς, εκτός του ότι αποτελούν πηγή ενέργειας για τα κύτταρα, συμμετέχουν και στη σύνθεση δι- και πολυσακχαριτών. Ειδικά οι πεντόζες ριβόζη και δεσοξυριβόζη συμμετέχουν στη σύνθεση του RNA και DNA αντίστοιχα

Δισακχαρίτες

Προκύπτουν από τη συνένωση δύο μονοσακχαριτών. Οι κυριότεροι δισακχαρίτες είναι η μαλτόζη, η σακχαρόζη και η λακτόζη.

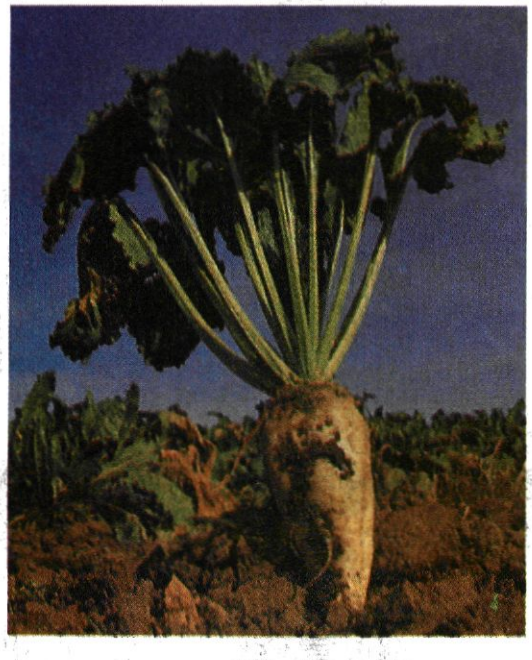
Η μαλτόζη προκύπτει από τη διάσπαση του αμύλου, κατά τη διαδικασία της πέψης. Η σακχαρόζη είναι συστατικό των φρούτων και αποτελεί την κύρια πηγή γλυκόζης για τους ζωικούς οργανισμούς. Η λακτόζη είναι το σάκχαρο του γάλακτος.

Πίνακας: Είδη μονοσακχαριτών και η λειτουργία που αυτοί επιτελούν.

ΕΙΔΟΣ ΜΟΝΟΣΑΚΧΑΡΙΤΗ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
Τριόζες Γλυκεριναλδεΰδη, διυδροξυκετόνη	Λειτουργούν ως ενδιάμεσα προϊόντα της φωτοσύνθεσης και της κυτταρικής αναπνοής.
Πεντόζες Ριβόζη, δεσοξυριβόζη	Συστατικά των νουκλεοτιδίων.
Εξόζες Γλυκόζη, φρουκτόζη, γαλακτόζη.	Η γλυκόζη, που είναι ο πιο διαδεδομένος μονοσακχαρίτης αποτελεί την πιο άμεση πηγή ενέργειας κατά την κυτταρική αναπνοή. Αποτελεί το δομικό λίθο των δι- και πολυσακχαριτών. Παράγεται κατά τη φωτοσύνθεση από τα πράσινα μέρη των φυτών. Η φρουκτόζη και η γαλακτόζη, που είναι ισομερείς ενώσεις της γλυκόζης, αποτελούν και αυτές πηγές ενέργειας και συστατικά των δισακχαριτών και των πολυσακχαριτών.

Πίνακας: Οι κυριότεροι δισακχαρίτες και η σύστασή τους.

ΔΙΣΑΚΧΑΡΙΤΗΣ	ΣΥΣΤΑΣΗ
Μαλτόζη	Γλυκόζη+ Γλυκόζη
Σακχαρόζη	Γλυκόζη + Φρουκτόζη
Λακτόζη	Γλυκόζη + Γαλακτόζη



Σε ειδικά κύτταρα της ρίζας του σακχαρότευτλου αποταμιεύονται μεγάλες ποσότητες σακχαρόζης. Η εκτεταμένη καλλιέργεια των φυτών αυτών σε πολλές χώρες, καλύπτει τις ανάγκες των καταναλωτών σε ζάχαρη.

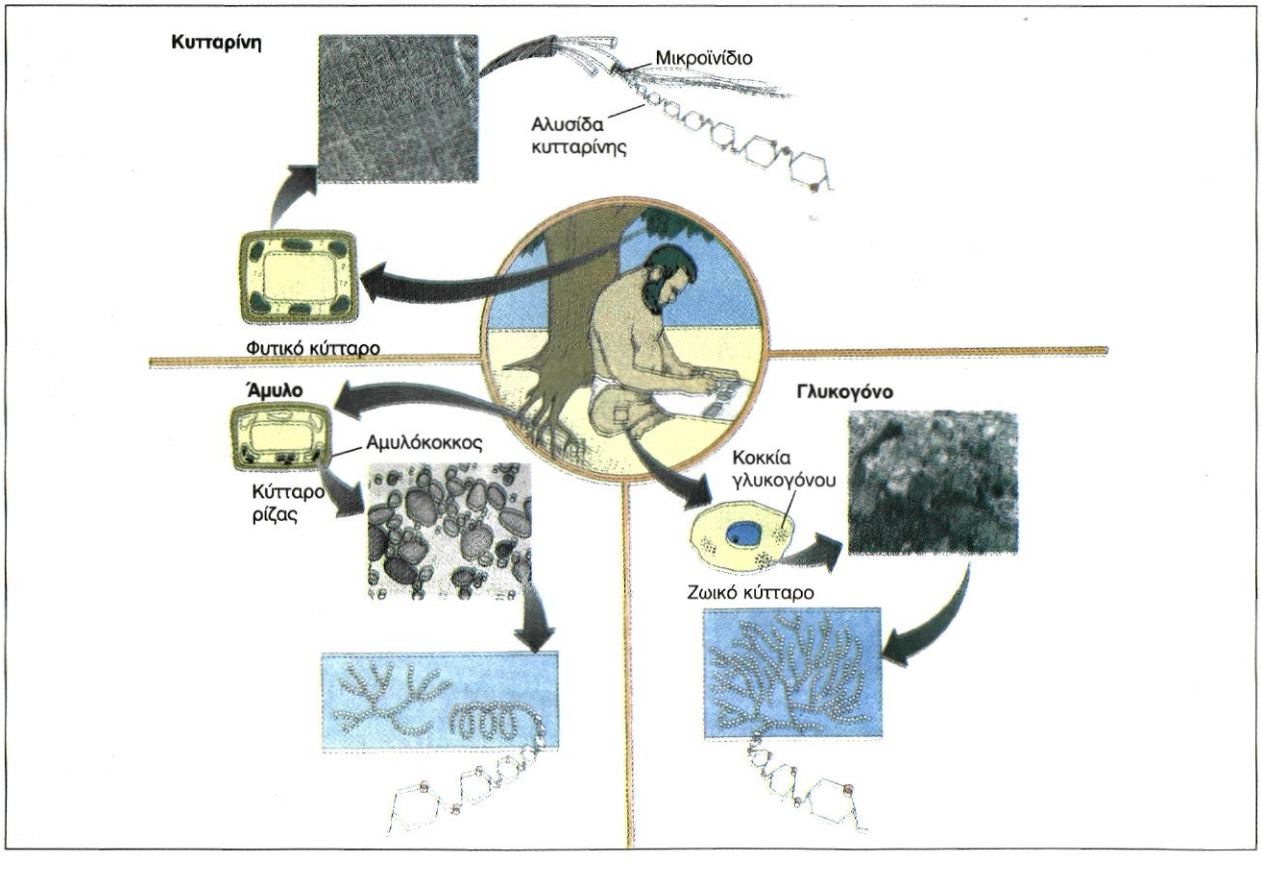
Πολυσακχαρίτες

Οι πολυσακχαρίτες προκύπτουν από τη συνένωση πολλών μορίων μονοσακχαριτών. Οι κύριοι πολυσακχαρίτες είναι η **κυτταρίνη**, το **άμυλο** και το **γλυκογόνο**. Παρά το ότι και οι τρεις αυτοί πολυσακχαρίτες οικοδομούνται από το ίδιο μονομερές, το μόριο της γλυκόζης, διαφέρουν ως προς το μέγεθος, τη μορφή που παίρνει το μόριό τους στο χώρο και το βιολογικό τους ρόλο. Η κυτταρίνη και το άμυλο συναντώνται στα φυτικά κύτταρα, η πρώτη ως συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος (δομικός πολυσακχαρίτης) και το δεύτερο ως αποταμιευτική ουσία. Το γλυκογόνο υπάρχει στα ζωικά κύτταρα και στα κύτταρα των μυκήτων ως αποταμιευτική ουσία.

Κόκκοι αμύλου στο εσωτερικό φυτικών κυττάρων.

Πίνακας: Κύριοι πολυσακχαρίτες και η λειτουργία που αυτοί επιτελούν.

ΠΟΛΥΣΑΚΧΑΡΙΤΕΣ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ
Κυτταρίνη: αποτελείται από περισσότερα από 10.000 μόρια γλυκόζης, που ενώνονται και σχηματίζουν ευθείες αλυσίδες.	Η πιο διαδεδομένη οργανική ένωση στον κόσμο. Είναι ο δομικός πολυσακχαρίτης των φυτών, καθώς αποτελεί το κύριο συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος των φυτικών κυττάρων. Οι μακρές αλυσίδες του συνδέονται μεταξύ τους με δεσμούς Η. Έτσι σχηματίζονται δέσμες, που διαπλέκονται σε ισχυρότατα πλέγματα. Μόνο μερικοί μικροοργανισμοί διαθέτουν το κατάλληλο ένζυμο για την υδρόλυσή του. Ορισμένοι από αυτούς συμβιώνουν φυσιολογικά στο πεπτικό σύστημα φυτοφάγων ζώων, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να πέπτουν την κυτταρίνη.
Άμυλο: αποτελείται από δεκάδες χιλιάδες μόρια γλυκόζης, που ενώνονται και σχηματίζουν σπειροειδή και διακλαδισμένη αλυσίδα.	Αποταμιευτικός πολυσακχαρίτης των φυτών. Διασπώμενο, αποδίδει τα μόρια γλυκόζης από τα οποία αποτελείται και έτσι προμηθεύει την πρώτη ύλη για την παραγωγή ενέργειας.
Γλυκογόνο: αποτελείται από μόρια γλυκόζης, που σχηματίζουν διακλαδισμένες αλυσίδες.	Αποταμιευτικός πολυσακχαρίτης των ζώων και των μυκήτων. Στα σπονδυλωτά αποθηκεύεται στο ήπαρ και στους μυς. Διασπώμενο, αποδίδει μόρια γλυκόζης που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας.



Μικροσκοπική δομή της κυτταρίνης. Κάθε μικροϊνίδιο κυτταρίνης συντίθεται από αλυσίδες κυτταρίνης, οι οποίες με τη σειρά τους είναι φτιαγμένες από μόρια γλυκόζης.

Η ΚΥΤΤΑΡΙΝΗ ΚΑΙ ΤΑ ΒΙΒΛΙΑ ΣΟΥ

Η κυτταρίνη είναι ένας πολυσακχαρίτης. Το μόριό του αποτελείται από αρκετές χιλιάδες μόρια γλυκόζης. Ως πρώτη ύλη θεωρείται διαδεδομένη, πρόσφορη και ανανεώσιμη, μια και αποτελεί το κυριότερο συστατικό του κυτταρικού τοιχώματος των φυτικών κυττάρων. Το βαμβάκι, του οποίου όλοι γνωρίζουμε τις χρήσεις, αποτελείται σχεδόν αποκλειστικά από κυτταρίνη. Το ίδιο ισχύει και για το λινάρι.

Η κυτταρίνη χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή χαρτιού, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν έχει και άλλες χρήσεις, που αφορούν κυρίως προϊόντα για τη συμπύκνωση χρωμάτων, τη σταθεροποίηση τροφίμων, καλλυντικών κ.ά.

Το ξύλο, βασικό συστατικό του οποίου είναι η κυτταρίνη, άρχισε να χρησιμοποιείται για την παραγωγή χαρτιού κατά το 18ο αιώνα και από τότε έως σήμερα οι τεχνικές έχουν εξελιχτεί σε απίστευτο βαθμό.

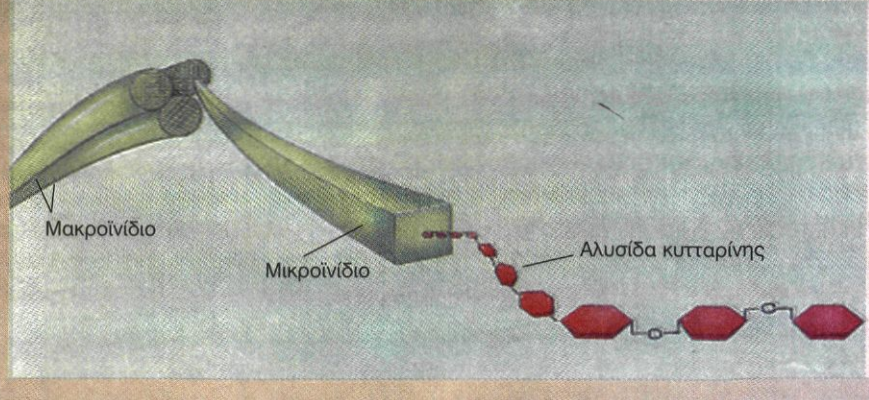
Σήμερα έχουμε στη διάθεσή μας πολλές ποιότητες χαρτιού, με ιδιότητες που μπορούν να καλύψουν κάθε ανάγκη μας, ακόμη και ένδυσης. Οι ιδιότητες του χαρτιού εξαρτώνται από τις ίνες του φυτού από το οποίο προέρχεται, όπως επίσης και από την τεχνική που ακολουθείται. Η κυτταρίνη δίνει στο χαρτί τα απαραίτητα χαρακτηριστικά σε ό,τι αφορά τη σταθερότητα, την ελαστικότητα, τη στιλπνότητα κτλ.

Για να φτιαχτεί το χαρτί, το ξύλο πολτοποιείται με φυσικές και χημικές διαδικασίες. Με χημική επεξεργασία απομακρύνονται διάφορα υλικά, με αποτέλεσμα να έχουμε χαρτί καλύτερης ποιότητας. Πολτός πολύ καλής ποιότητας, όπως αυτός που φτιάχνεται από βαμβάκι, χρησιμοποιείται για χαρτί μακράς διάρκειας, το οποίο χρειάζονται οι τράπεζες, ή για ειδικό χαρτί, όπως αυτό από το οποίο φτιάχνονται τα διάφορα φίλτρα. Είναι περίπου 7 ή 8 φορές πιο ακριβό από το κοινό χαρτί καλής ποιότητας.

Τα τελευταία χρόνια γίνεται προσπάθεια να ανακυκλώνεται ένα μεγάλο ποσοστό από το χαρτί που ξοδεύουμε. Γίνεται ακόμη προσπάθεια να αξιοποιούνται σωστά τα δάση, τα οποία ανανεώνονται συστηματικά.

Τα τελευταία χρόνια οι τεχνικές έχουν εξελιχθεί και είναι δυνατό να πάρουμε χαρτί σχεδόν οποιασδήποτε ποιότητας με ανακύκλωση. Παραμένει όμως δύσκολο να απομακρύνουμε τα μελάνια και να έχουμε λευκό χαρτί χωρίς τη χρήση επικίνδυνων χημικών.

Επιπλέον ανακύκλωση του προερχόμενου από ανακύκλωση χαρτιού μπορεί να βοηθήσει να αποφύγουμε τη ρύπανση από το κάψιμο (αύξηση του διοξειδίου του άνθρακα της ατμόσφαιρας) ή την ταφή σε ήδη κορεσμένες από απορρίμματα περιοχές.



ΟΙ ΑΠΟΤΑΜΙΕΥΤΙΚΕΣ ΟΥΣΙΕΣ ΣΤΑ ΦΥΤΑ ΚΑΙ ΣΤΑ ΖΩΑ

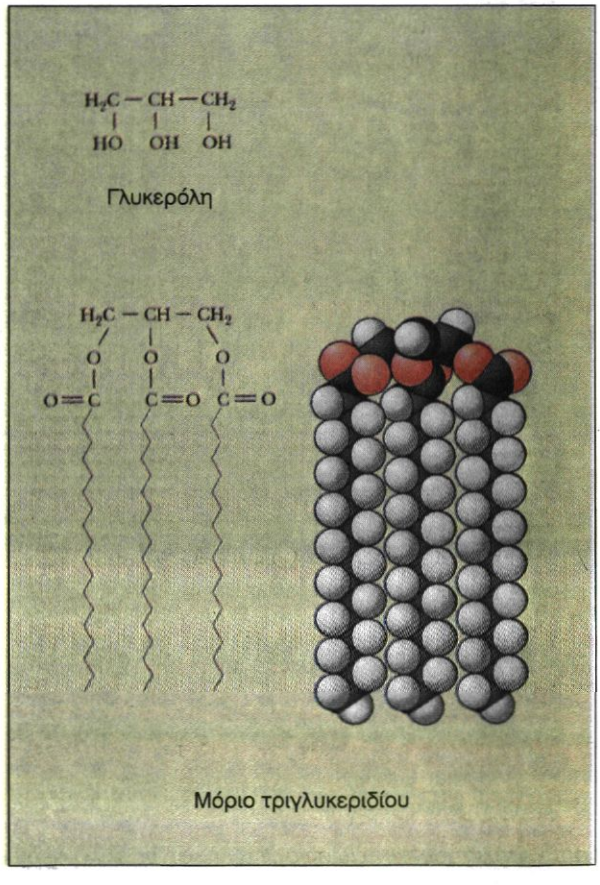
Για τα φυτά, που γενικώς είναι ακίνητα, δεν αποτελεί μεγάλο κόστος το να αποθηκεύουν την περίσσεια χημικής ενέργειας με τη μορφή αμύλου. Αντίθετα τα ζώα, που μετακινούνται, την περίσσεια χημικής ενέργειας από τις τροφές, την αποθηκεύουν με τη μορφή λιπών. Το μικρό βάρος των λιπών, σε σχέση με τη μεγάλη εσωτερική ενέργεια που εγκλείουν, τα καθιστά μια ευκολομεταφερόμενη και συμπυκνωμένη αποθήκη ενέργειας.
Τα μεταναστευτικά πουλιά της πατρίδας μας (π.χ. χελιδόνια) αποθηκεύουν χημική ενέργεια από τις τροφές που καταναλώνουν το καλοκαίρι στο λίπος που συσσωρεύουν στο σώμα τους. Έτσι, όταν το φθινόπωρο ξεκινούν το ταξίδι τους για το Νότο, έχουν μαζί τους ένα ελαφρύ και αποδοτικό καύσιμο για την πτήση τους.

Λιπίδια

Τα λιπίδια αποτελούν είτε δομικά συστατικά των κυττάρων (π.χ. συστατικά των μεμβρανών) είτε λειτουργικά (π.χ. αποταμιευτικές ουσίες). Κοινό χαρακτηριστικό όλων των λιπιδίων είναι ότι δε διαλύονται στο νερό. Από τις σημαντικότερες κατηγορίες λιπιδίων είναι τα **ουδέτερα λίπη**, τα **φωσφολιπίδια** και τα **στεροειδή**.

Ουδέτερα λίπη (τριγλυκερίδια)

Ένα μόριο ουδέτερου λίπους αποτελείται από τρία μόρια λιπαρών οξέων που έχουν ενωθεί με ένα μόριο γλυκερόλης.
Ένας τρόπος διάκρισης των ουδέτερων λιπών βασίζεται στο αν τα λιπαρά οξέα που περιέχουν είναι κορεσμένα (περιέχουν μόνο απλούς δεσμούς) ή ακόρεστα (περιέχουν και διπλούς δεσμούς).
Τα ακόρεστα λίπη, που είναι συχνότερα στα φυτά παρά στα ζώα, τείνουν, στις συνήθεις συνθήκες, να παραμένουν υγρά (ελαιόλαδο, αραβοσιτέλαιο κ.ά.). Αντίθετα τα κορεσμένα λίπη, που είναι συχνότερα στα ζώα παρά στα φυτά, στερεοποιούνται (βούτυρο κ.ά.).
Τα λίπη αποτελούν για τους οργανισμούς σπουδαίες αποθηκευτικές ουσίες, καθώς, για το ίδιο βάρος με τους υδατάνθρακες, περικλείουν διπλάσιο ποσό ενέργειας. Σε ορισμένα ζώα τα λίπη που συσσωρεύονται στον υποδόριο ιστό, εκτός από το ότι είναι αποθήκες ενέργειας, παίζουν και θερμομονωτικό ρόλο.



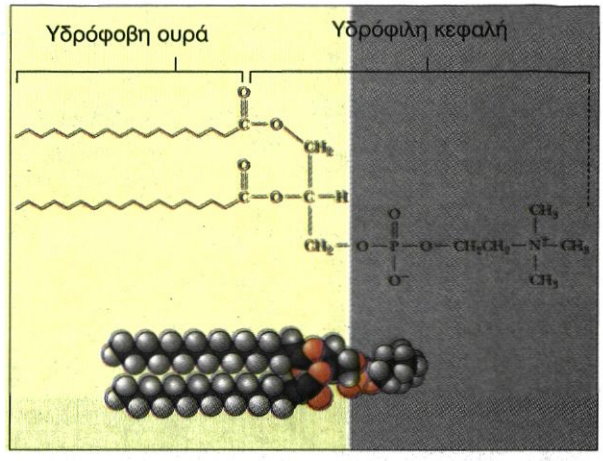
Το απλό τριγλυκερίδιο αποτελείται από ένα μόριο γλυκερόλης ενωμένο με τρία μόρια λιπαρών οξέων.

Φωσφολιπίδια

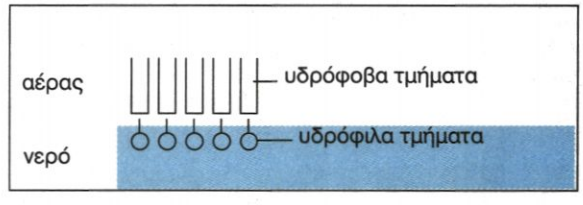
Τα περισσότερο διαδεδομένα φωσφολιπίδια είναι αυτά που αποτελούνται από ένα μόριο γλυκερόλης συνδεδεμένο με δύο μόρια λιπαρών οξέων, ένα μόριο φωσφορικού οξέος και ένα μικρότερο πολικό μόριο.

Τα φωσφολιπίδια εμφανίζουν ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό σε σχέση με το νερό. Η κεφαλή του μορίου τους είναι **υδρόφιλη**, ενώ αντίθετα η ουρά του μορίου τους είναι **υδρόφοβη**. Για το λόγο αυτό, όταν τα φωσφολιπίδια τοποθετηθούν πάνω στο νερό, τείνουν να σχηματίσουν ένα λεπτό στρώμα, στο οποίο οι υδρόφιλες κεφαλές βρίσκονται μέσα στο νερό, ενώ οι υδρόφοβες ουρές προβάλλουν έξω από την ελεύθερη επιφάνεια.

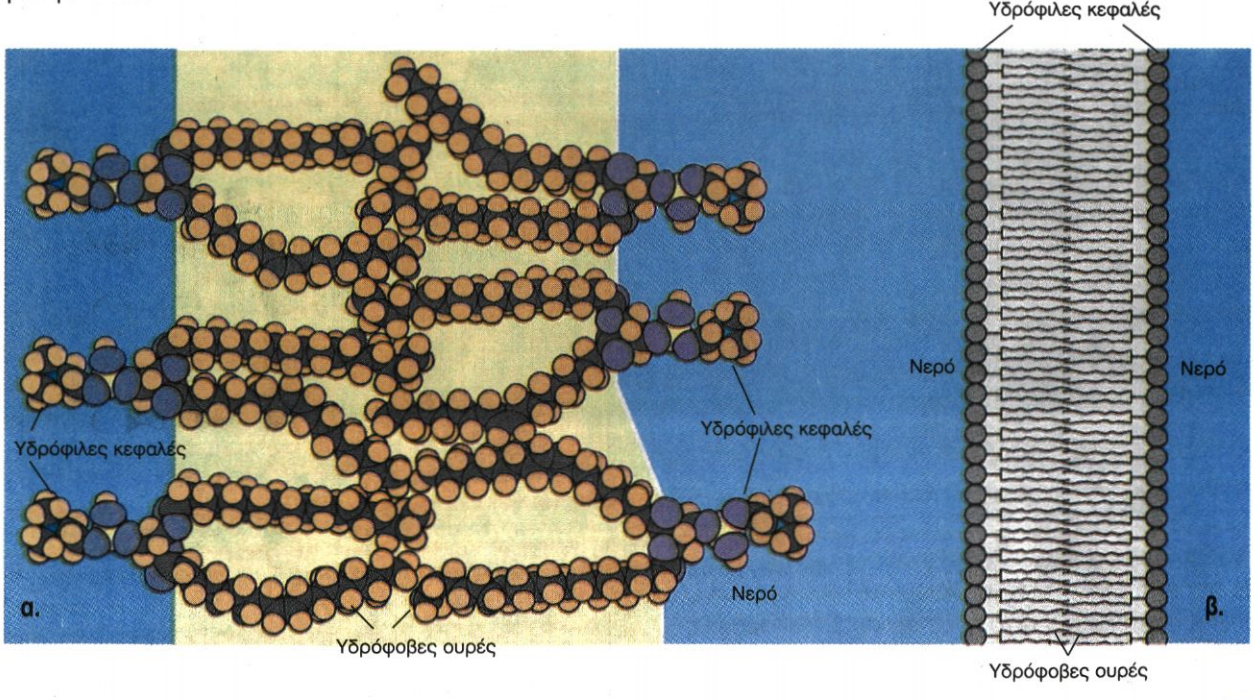
Στα κύτταρα, επειδή και το εξωτερικό και το εσωτερικό τους περιβάλλον είναι υδατικό, τα φωσφολιπίδια αυθόρμητα συγκροτούν διπλοστιβάδα. Οι υδρόφιλες κεφαλές τους στρέφονται προς το υδατικό εξωκυττάριο και ενδοκυττάριο περιβάλλον, ενώ οι υδρόφοβες ουρές τους «κρύβονται» στο εσωτερικό της διπλοστιβάδας. Η «επιθυμία» του υδρόφοβου μέρους των φωσφολιπιδίων να αποφεύγει οπωσδήποτε το νερό κάνει τα μόρια αυτά να έλκονται και να προσεγγίζουν στενά το ένα με το άλλο. Δημιουργείται έτσι μια σταθερή δομή. Η ιδιότητα αυτή είναι σημαντική για τη συγκρότηση και τη λειτουργικότητα των μεμβρανών του κυττάρου, των οποίων κύριο δομικό συστατικό είναι τα φωσφολιπίδια.



Δομή φωσφολιπιδίου (φωσφατιδυλοχολίνη).



Συμπεριφορά λιπιδίων στο νερό. Σχηματίζουν στην επιφάνεια του νερού απλές στιβάδες με το υδρόφιλο τμήμα σε επαφή με το νερό και το υδρόφοβο να παραμένει στον αέρα.



Προσανατολισμός των φωσφολιπιδίων σε υδατικό περιβάλλον: (α) Μέσα στο νερό τα μόρια των λιπιδίων προσανατολίζονται με τις υδρόφιλες κεφαλές προς την πλευρά του νερού και τις υδρόφοβες ουρές τους να συγκλίνουν σε μια προσπάθεια να «αποφύγουν» το νερό. (β) Μια διπλοστιβάδα λιπιδίων, όπως αυτή εμφανίζεται στις κυτταρικές μεμβράνες.

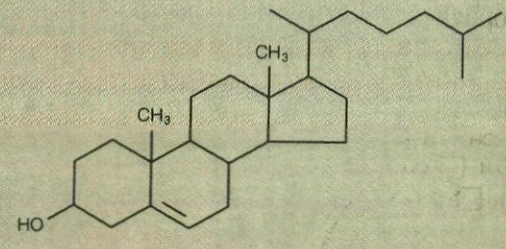
Στεροειδή
Τα στεροειδή διαφέρουν από τα υπόλοιπα λιπίδια ως προς τη δομή τους. Ένα στεροειδές, που είναι γνωστό περισσότερο για τις αρνητικές συνέπειές του, στην υγεία μας, αφού προκαλεί αρτηριοσκλήρυνση, είναι η **χοληστερόλη**. Θα πρέπει να σημειώσουμε ωστόσο ότι η χοληστερόλη αποτελεί παράλληλα συστατικό των μεμβρανών των ζωικών κυττάρων.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Ένα άτομο βρίσκεται εδώ και πολύ καιρό σε δίαιτα με χαμηλά λιπαρά, μετά από σύσταση του γιατρού του. Τελευταία τον άκουσες να λέει γεμάτος ενθουσιασμό: «Θα κατεβάσω τη χοληστερίνη μου στο μηδέν». Πώς θα του εξηγούσες γιατί αυτό είναι όχι μόνο ένας ανέφικτος αλλά και ανεπιθύμητος στόχος;

Η «ΧΟΛΗΣΤΕΡΙΝΗ» ΣΤΗ ΖΩΗ ΜΑΣ

Η χοληστερόλη (συνήθως αναφέρεται ως χοληστερίνη) είναι ένα στεροειδές κοινό στους ζωικούς οργανισμούς και φυσικά στον άνθρωπο, μια και αποτελεί συστατικό των κυτταρικών μεμβρανών τους. Συχνά όμως η εναπόθεση χοληστερόλης, σε συνδυασμό με άλλες ουσίες,



Δομή του μορίου της χοληστερόλης.

στα τοιχώματα των αγγείων περιορίζει τη διατομή τους (αρτηριοσκλήρυνση). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ελαττώνεται ή και να διακόπτεται τελείως η ροή του αίματος. Ανάλογα με την έκταση του φαινομένου και την περιοχή στην οποία συμβαίνει προκαλούνται πολλές ανεπιθύμητες καταστάσεις. Σε ό,τι αφορά τον άνθρωπο, σ' αυτές περιλαμβάνεται ο εκφυλισμός των ιστών ή και ο θάνατός τους εξαιτίας διακοπής στην παροχή αίματος, η δημιουργία θρόμβων, που μεταφερόμενοι με την κυκλοφορία του αίματος αποφράζουν τα αγγεία και η επιβάρυνση της λειτουργίας της καρδιάς, που εργάζεται εντονότερα, ώστε να στείλει σε ολόκληρο τον οργανισμό την απαραίτητη ποσότητα αίματος.
Σοβαρότερες περιπτώσεις είναι τα εγκεφαλικά επεισόδια από την απόφραξη ή τη ρήξη των αρτηριών του εγκεφάλου και τα εμφράγματα της καρδιάς από την απόφραξη των στεφανιαίων αρτηριών.

Το κάπνισμα, η καθιστική ζωή, η διατροφή με τροφές που περιέχουν σε υπερβολική ποσότητα ζωικά λίπη, το άγχος και κληρονομικοί παράγοντες ευνοούν την εναπόθεση λιπαρών ουσιών στις αρτηρίες.

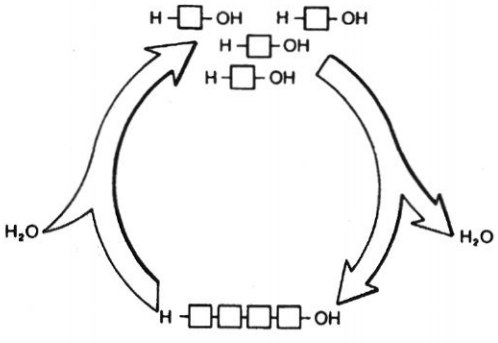
Τμήμα της αορτής του ανθρώπου με εναποθέσεις λιπαρών και άλλων ουσιών στα τοιχώματά της.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στους οργανισμούς επικρατούν τα στοιχεία άνθρακας, υδρογόνο, οξυγόνο και άζωτο, γιατί αυτά εξασφαλίζουν τη σταθερότητα και ποικιλομορφία στα βιομόρια.
Μέσα στα κύτταρα οι δομικοί λίθοι ενώνονται μεταξύ τους με ομοιοπολικούς δεσμούς σχηματίζοντας τα μακρομόρια. Τα αμινοξέα ενώνονται μεταξύ τους με πεπτιδικό δεσμό σχηματίζοντας τις πρωτεΐνες, που έχουν δομικό και λειτουργικό ρόλο.
Τα νουκλεοτίδια ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας τα νουκλεϊκά οξέα (DNA και RNA). Το DNA δομείται από δεσοξυριβονουκλεοτίδια, ενώ το RNA δομείται από ριβονουκλεοτίδια και εμφανίζεται ως αγγελιαφόρο RNA (mRNA), ως μεταφορικό RNA (tRNA) και ως ριβοσωμικό RNA (rRNA).
Τα μόρια της γλυκόζης ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας πολυσακχαρίτες. Οι πολυσακχαρίτες άμυλο και γλυκογόνο έχουν αποταμιευτικό ρόλο, ενώ η κυτταρίνη δομικό ρόλο.
Μια άλλη κατηγορία οργανικών ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους είναι τα λιπίδια, που διακρίνονται σε ουδέτερα λίπη, σε φωσφολιπίδια και σε στεροειδή. Τα ουδέτερα λίπη είναι αποθήκες ενέργειας. Τα φωσφολιπίδια έχουν δομικό ρόλο και από τα στεροειδή η χοληστερόλη αποτελεί συστατικό των μεμβρανών των ζωικών κυττάρων.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Τοποθετήστε στο διάγραμμα που ακολουθεί τους όρους: σύνθεση, υδρόλυση, μακρομόριο, μονομερή. Ερμηνεύστε το διάγραμμα.



2. Σημειώστε την ένδειξη Σ ή Λ δίπλα σε κάθε πρόταση, ανάλογα εάν το νόημά της είναι αντίστοιχα σωστό ή λάθος.
   α) Το μόριο του RNA διαφέρει από το μόριο του DNA, γιατί το RNA είναι κατά βάση μονόκλωνο.
   β) Το μόριο του DNA περιέχει την αζωτούχο βάση ουρακίλη (U).
   γ) Το μόριο του DNA περιέχει την πεντόζη ριβόζη.
   δ) Το μόριο του DNA αποτελείται από δύο πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες που σχηματίζουν διπλή έλικα.
   ε) Το μόριο του RNA περιέχει την αζωτούχο βάση θυμίνη (T).
   στ) Τα μονομερή των πρωτεϊνών είναι τα νουκλεϊκά οξέα.
   θ) Μία από τις ιδιότητες του DNA είναι να μεταφέρει τις γενετικές πληροφορίες αλλοιωμένες και τροποποιημένες στις δύο επόμενες γενιές.

3. Σημειώστε την ένδειξη Σ ή Λ δίπλα σε κάθε πρόταση, ανάλογα εάν το νόημά της είναι αντίστοιχα σωστό ή λάθος.
   α) Το DNA είναι πρωτεΐνη.

β) Τα νουκλεοτίδια είναι τα μονομερή των πρωτεϊνών.
γ) Η δομή των πρωτεϊνικών μορίων καθορίζει τη λειτουργία τους.
δ) Το μονομερές των πρωτεϊνών είναι ένα σάκχαρο.
ε) Κάθε αμινοξύ περιέχει στο μόριό του ένα σταθερό τμήμα που ονομάζεται πλευρική ομάδα.
στ) Η έκθεση της πρωτεΐνης σε ακραίες τιμές PH ονομάζεται μετουσίωση.
ζ) Η κατάταξη των πρωτεϊνών σε δομικές και λειτουργικές γίνεται με κριτήριο τη δομή τους.
η) Οι υδατάνθρακες διακρίνονται μόνο σε μονοσακχαρίτες και δισακχαρίτες.
θ) Οι δισακχαρίτες προκύπτουν από την συνένωση δύο νουκλεοτιδίων της αδενίνης.
ι) Οι πολυσακχαρίτες προκύπτουν από την συνένωση πολλών αμινοξέων.

4. Συμπληρώστε τα κενά ώστε οι προτάσεις να αποδίδουν το σωστό νόημα.
Αν μία πρωτεΐνη αποτελείται μόνο από μια ...., το τελικό στάδιο της διαμόρφωσής της μπορεί να είναι μέχρι και η τριτοταγής δομή. Τα φωσφολιπίδια εμφανίζουν ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό σε σχέση με το νερό. Η κεφαλή του μορίου τους είναι ....., ενώ αντίθετα η ουρά του μορίου τους είναι ..... Τα στεροειδή ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία μακρομορίων των ..... Η χοληστερίνη αποτελεί συστατικό των ..... των ....

Οι κύριοι πολυσακχαρίτες είναι η ....., το ....., και το ..... . Οι μονοσακχαρίτες διακρίνονται σε ..... , ... και ..... . Η μαλτόζη προκύπτει από τη διάσπαση του ..... με τη διαδικασία της ..... . Η λακτόζη είναι το σάκχαρο του ..... .

Τα μονομερή των διαφορετικών ειδών μακρομορίων συνδέονται μεταξύ τους με τον ίδιο πάντοτε βασικό μηχανισμό, που ονομάζεται ..... . Κατά τη διαδικασία αυτή το ένα μονομερές χάνει ένα ...., ενώ το άλλο .... Αν μεταξύ των μακρομορίων αναζητούσες το πιο διαδεδομένο και πολυδιάστατο στη μορφή και τη λειτουργία μόριο, αργά ή γρήγορα θα κατέληγες στις ..... .

Οι δύο κλώνοι του DNA συγκρατούνται μεταξύ τους με .... Το μόριο του DNA φέρει τις .... Το σύνολο των μορίων του DNA ενός κυττάρου αποτελεί το .... Το DNA του ευκαρυωτικού κυττάρου βρίσκεται κυρίως μέσα στο ..... . Μικρό μέρος του υπάρχει στα μιτοχόνδρια και στους ..... .

5. Περιγράψτε τα τέσσερα επίπεδα οργάνωσης των πρωτεϊνών.

6. Μια πρωτεΐνη χάνει τη λειτουργικότητά της ύστερα από θέρμανση στους 80°C. Πώς χαρακτηρίζεται το σχετικό φαινόμενο και πού οφείλεται;

7. Το RNA διαφέρει από το DNA, γιατί το RNA:
α. είναι συνήθως μονόκλωνο
β. περιέχει το σάκχαρο ριβόζη
γ. περιέχει ουρακίλη
δ. για όλα τα παραπάνω
Επιλέξτε τη σωστή απάντηση

8. Περιγράψτε τη δομή των νουκλεϊνικών οξέων (DNA, RNA). Αναφέρατε τις διαφορές των δύο μορίων σε ό,τι αφορά τη δομή, τη λειτουργία τους και τις περιοχές του κυττάρου όπου συναντώνται.

9. Αναφέρατε τους κυριότερους πολυσακχαρίτες και το βιολογικό ρόλο του καθενός.

10. Η υπάλληλος του κυλικείου του σχολείου σας, σας προτείνει ένα επιδόρπιο, διαβεβαιώνοντάς σας, ότι δεν περιέχει υδατάνθρακες. Η ετικέτα του προϊόντος αναφέρει ότι περιέχει σακχαρόζη. Σας είπε την αλήθεια η υπάλληλος; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

11. Συμπληρώστε τον πίνακα που ακολουθεί:

Μακρομόριο	Μονομερές	Λειτουργία
DNA		
Γλυκογόνο		
Ένζυμο		

12. Δικαιολογήστε γιατί είναι σημαντικός ο ρόλος της πλευρικής ομάδας (R) των αμινοξέων.

13. Αιτιολογήστε το γεγονός ότι το πλήθος των διαφορετικών πρωτεϊνών που υπάρχουν σε ένα κύτταρο καθορίζει το πλήθος των διαφορετικών λειτουργιών και δομικών χαρακτηριστικών του.

14. Μια πρωτεΐνη έχει μοριακό βάρος 34.000 και αποτελείται από τέσσερις πολυπεπτιδικές αλυσίδες, που είναι ανά δύο όμοιες. Αν η μία από αυτές έχει μοριακό βάρος 9.000 και το μέσο μοριακό βάρος των αμινοξέων είναι 100, να βρείτε τον αριθμό των αμινοξέων κάθε πολυπεπτιδικής αλυσίδας. ΣΗΜ: Να μην ληφθεί υπόψη η αφαίρεση μορίων νερού κατά το σχηματισμότων πεπτιδικών δεσμών.

ΑΣ ΕΡΕΥΝΗΣΟΥΜΕ...

1. Ετοιμάστε ένα ενημερωτικό φυλλάδιο για τους υπόλοιπους μαθητές του σχολείου σας, με το οποίο θα τους ενημερώνετε για τις επιπτώσεις της έλλειψης των στοιχείων Na, K, I, P, Fe, Ca, Mg, Zn, Co από τη δίαιτά μας. Αναφέρατε επίσης ποια είναι τα κυριότερα τρόφιμα - πηγές αυτών των στοιχείων.

2. Ετοίμασε μόνος ή σε συνεργασία με άλλους συμμαθητές σου ένα άρθρο για την τοπική εφημερίδα σχετικό με τη **χοληστερόλη (χοληστερίνη)**. Θα πρέπει μ' αυτό να ενημερώνετε με απλό τρόπο, και παράλληλα με επιστημονική ακρίβεια, για το είδος του μορίου αυτού και το ρόλο του στη λειτουργία του κυττάρου και γενικότερα του οργανισμού. Ποια είναι η σχέση του μορίου αυτού με την αρτηριοσκλήρυνση, τα καρδιακά και τα εγκεφαλικά επεισόδια, την παρεμπόδιση της κυκλοφορίας στα άκρα; Πώς μπορεί να εμπλέκεται η υψηλή αρτηριακή πίεση με τα παραπάνω φαινόμενα; Θα ήταν επίσης ενδιαφέρον να διερευνήσετε, αξιοποιώντας ως πηγές πληροφόρησης τις υπηρεσίες υγείας και ειδικούς επιστήμονες της περιοχής σας, το ποσοστό των ατόμων με σχετικά προβλήματα και τη σχέση του τρόπου ζωής τους (είδος διατροφής, κάπνισμα, σωματική άσκηση κ.ά.) με την εμφάνιση των παραπάνω προβλημάτων.

3. Διερευνήστε το ρόλο της κυτταρίνης ως συστατικού των τροφών στον ανθρώπινο οργανισμό, λαμβάνοντας υπόψη ότι δε διασπάται κατά την πέψη.

4. Διερευνήστε τους λόγους για τους οποίους ορισμένες μονάδες επεξεργασίας τροφίμων «υδρογονώνουν» τα φυτικά έλαια πριν τα διαθέσουν στα καταστήματα τροφίμων. Από την άποψη της υγείας, τι είναι προτιμότερο να καταναλώνουμε, τα υδρογονωμένα φυτικά έλαια ή τα μη υδρογονωμένα; Προσπαθήστε να τεκμηριώσετε την άποψή σας και ενημερώστε για τα αποτελέσματα της έρευνάς σας και τους υπόλοιπους μαθητές του σχολείου σας, με ένα άρθρο στη σχολική εφημερίδα ή ένα ενημερωτικό φυλλάδιο που θα ετοιμάσετε σχετικά με το θέμα και θα τους το μοιράσετε.

5. Υποθέστε ότι έχετε την ευθύνη της προετοιμασίας του φαγητού για μια κατασκήνωση και θέλετε το φαγητό να είναι υγιεινό για τους κατασκηνωτές. Θα χρησιμοποιούσατε φυτικό λάδι (π.χ. ελιάς) ή ζωικό βούτυρο; Απαντήστε, αφού ερευνήσετε το θέμα. Εξηγήστε και στους συμμαθητές σας για ποιο λόγο θα παίρνατε τη συγκεκριμένη απόφαση.

Κεφάλαιο 2

Ψευδοχρωματική μικροφωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, όπου διακρίνεται χλωροπλάστης στο εσωτερικό του οποίου υπάρχει ένας αμυλόκοκκος (χρωματισμένος ροζ).

ΚΥΤΤΑΡΟ: Η ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΜΟΝΑΔΑ ΤΗΣ ΖΩΗΣ

2.1 Το πορτρέτο του ευκαρυωτικού κυττάρου

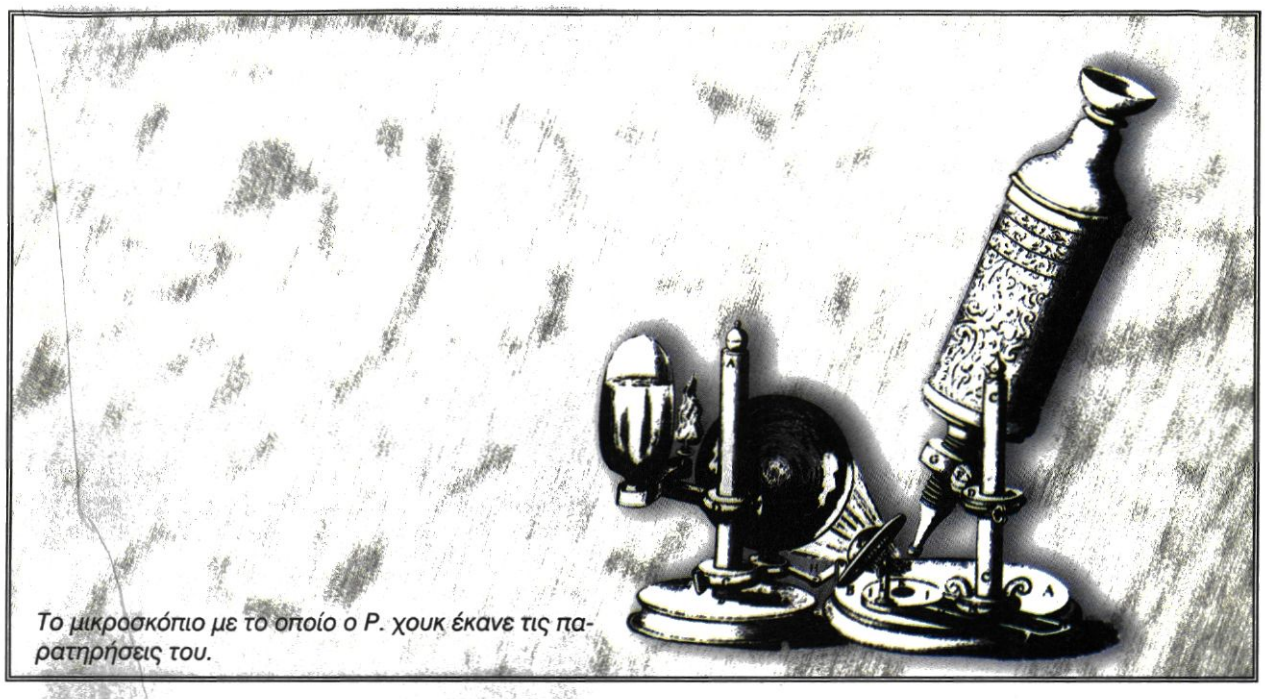
2.2 Πλασματική μεμβράνη: το λεπτό σύνορο ανάμεσα στην άβια ύλη και στη ζωή

2.3 Μια περιήγηση στο εσωτερικό του κυττάρου

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος της μελέτης αυτού του κεφαλαίου θα μπορείτε:

- Να αναγνωρίζετε το κύτταρο, ως τη θεμελιώδη μονάδα ρης ζωής.
- Να διακρίνετε ομοιότητες και διαφορές ανάμεσα στο ευκαρυωτικό και το προκαρυωτικό κύτταρο, όπως και ανάμεσα στο ζωικό και το φυτικό.
- Να διακρίνετε τρόπους επικοινωνίας μεταξύ των κυττάρων.
- Να περιγράφετε τη δομή και τη λειτουργία των κυτταρικών οργανιδίων ξεκινώντας από τη μεμβράνη και καταλήγοντας στον πυρήνα.
- Να περιγράφετε το ρόλο των κυτταρικών οργανιδίων στη ζωή του κυττάρου.
- Να διακρίνετε τη σχέση που υπάρχει μεταξύ των οργανιδίων του κυττάρου και τον τρόπο με τον οποίο συνεργάζονται αυτά για τη διεξαγωγή των κυτταρικών λειτουργιών.
- Να συσχετίζετε τις κυτταρικές λειτουργίες με τις λειτουργίες στο επίπεδο του οργανισμού.



Το μικροσκόπιο με το οποίο ο Ρ. χουκ έκανε τις παρατηρήσεις του.

Μια από τις επιδιώξεις των Φυσικών Επιστημών είναι να περιγράψουν και να εξηγήσουν τη δομή και τις ιδιότητες της ύλης, ξεκινώντας από τα μικρότερα δομικά συστατικά της. Η ατομική θεωρία αποτελεί την πραγματοποίηση αυτής της επιδίωξης για την ύλη γενικά. Κάτι ανάλογο είναι η **κυτταρική θεωρία**, που βοηθά όμως στην περιγραφή της δομής και των ιδιοτήτων της έμβιας ύλης.

Το ότι όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα είναι γνωστό και συνήθως δεν αισθανόμαστε την ανάγκη να το σχολιάσουμε εκτενέστερα. Αυτό όμως που σήμερα μας φαίνεται απλό και αυτονόητο είναι το αποτέλεσμα μιας σειράς μελετών, παρατηρήσεων και συμπερασμάτων, τα οποία διήρκεσαν περισσότερο από 170 χρόνια. Την αρχή έκανε το 1665 ο Ρ. Χουκ, όταν ανέφερε για πρώτη φορά τη λέξη **«κύτταρο»**, παρατηρώντας, με το δικής του κατασκευής μικροσκόπιο, λεπτές τομές φελλού και όχι ζωντανά κύτταρα. Η κυτταρική θεωρία διατυπώθηκε αργότερα, το 1838-39, από τους Μ. Σλάιντεν και Τ. Σβαν, που υποστήριξαν ότι **«η θεμελιώδης δομική και λειτουργική μονάδα όλων των οργανισμών είναι το κύτταρο»**. Αυτό σημαίνει ότι το κύτταρο είναι η μικρότερη δομή στη φύση όπου εμφανίζεται το φαινόμενο της ζωής. Η θεωρία αυτή ολοκληρώθηκε πολύ αργότερα, το 1885, από το Ρ. Βίρχοφ με την περίφημη θέση του **«κάθε κύτταρο προέρχεται από ένα κύτταρο»**.

Η κυτταρική θεωρία στη σύγχρονη εκδοχή της υποστηρίζει ότι:

- Όλοι οι οργανισμοί αποτελούνται από κύτταρα και από κυτταρικά παράγωγα.
- Όλα τα κύτταρα δομούνται από τις ίδιες χημικές ενώσεις και εκδηλώνουν παρόμοιες μεταβολικές διεργασίες.
- Η λειτουργία των οργανισμών είναι το αποτέλεσμα της συλλογικής δράσης και αλληλεπίδρασης των κυττάρων που τους αποτελούν.
- Κάθε κύτταρο προέρχεται από τη διαίρεση προϋπάρχοντος κυττάρου.

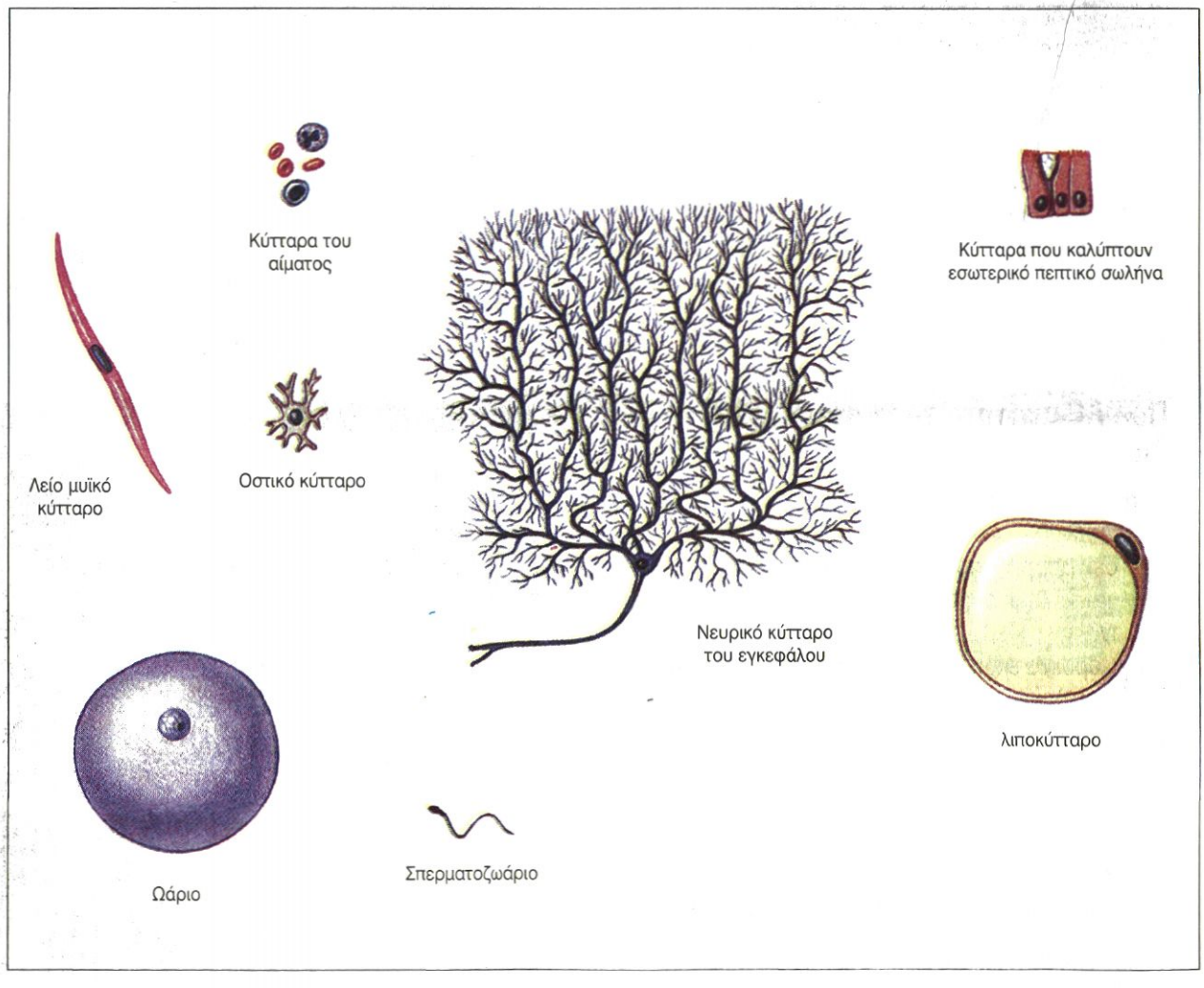
Τα κύτταρα, με κριτήριο την πολυπλοκότητα της κατασκευής τους και κυρίως την ύπαρξη ή όχι μεμβράνης που περιβάλλει το γενετικό τους υλικό, διακρίνονται σε **προκαρυωτικά** και σε **ευκαρυωτικά**. Η δομή των ευκαρυωτικών κυττάρων, δηλαδή ορισμένων μονοκύτταρων και των πολυκύτταρων οργανισμών, είναι συνθετότερη. Η μεμβράνη που περιβάλλει το γενετικό υλικό σχηματίζει μαζί μ' αυτό τον **πυρήνα** του κυττάρου (κάρυο=πυρήνας, ευ=καλώς → καλά σχηματισμένος πυρήνας). Αντίθετα, στα προκαρυωτικά κύτταρα (βακτήρια και κυανοβακτήρια), που είναι απλούστερα, το γενετικό υλικό δεν περιβάλλεται από μεμβράνη και συνεπώς δεν υπάρχει πυρήνας. Θεωρείται ότι τα προκαρυωτικά κύτταρα, κατά την εξελικτική διαδικασία, προϋπήρξαν των ευκαρυωτικών.

2.1 ΤΟ ΠΟΡΤΡΕΤΟ ΤΟΥ ΕΥΚΑΡΥΩΤΙΚΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

Έχουμε σίγουρα δει εικόνες και σχήματα ευκαρυωτικών κυττάρων. Οι απεικονίσεις αυτές, όσο επιτυχημένες κι αν είναι, δημιουργούν συχνά την εντύπωση ότι ένα ευκαρυωτικό κύτταρο είναι μια επίπεδη και αδρανής κατασκευή. Η πραγματικότητα όμως είναι διαφορετική. Τα κύτταρα αποτελούν **τρισδιάστατες** δομές, που σφύζουν από δραστηριότητα. Μερικά από αυτά έχουν δυνατότητα κίνησης, χάρη σε ειδικές δομές που διαθέτουν, ενώ άλλα μπορούν να συλλαμβάνουν την τροφή τους μεταβάλλοντας το σχήμα τους. Υπάρχουν όμως και ιδιότητες που είναι κοινές για όλα τα κύτταρα, όπως η μεταφορά ουσιών στο εσωτερικό τους, η αλλαγή θέσης των κυτταρικών δομών, όταν αυτό είναι απαραίτητο, και οι πολύπλοκες βιοχημικές διεργασίες.

Τα κύτταρα εξάλλου δεν είναι όλα ίδια. Στον άνθρωπο, για παράδειγμα, υπάρχουν 100 περίπου διαφορετικά είδη κυττάρων. Καθένα έχει τη δική του χαρακτηριστική μορφή και κάνει μια συγκεκριμένη λειτουργία. Κάποια έχουν επίμηκες σχήμα και δυνατότητα συστολής, άλλα έχουν λεπτές προεκτάσεις, με τις οποίες μπορούν να μεταβιβάζουν και να δέχονται μηνύματα, και άλλα είναι πλατιά και έχουν καλυπτήριο ρόλο.

Είναι επομένως δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να κάνουμε μια ολοκληρωμένη παρουσίαση του κυττάρου με βάση ένα μόνο σχήμα ή μία περιγραφή. Για να ξεπεραστεί αυτή η δυσκολία, καταφεύγουμε στην περιγραφή ενός ουσιαστικά ανύπαρκτου κυττάρου. Είναι αυτό που οι βιολόγοι ονομάζουν «**τυπικό κύτταρο**». Ένα κύτταρο δηλαδή το οποίο συγκεντρώνει όλα τα κοινά γνωρίσματα. Ας το γνωρίσουμε λοιπόν...



Τα κύτταρα του ανθρώπινου οργανισμού διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους στο σχήμα και στις λειτουργίες που επιτελούν. Η σχέση μεγέθους των κυττάρων, όπως παρουσιάζεται στην εικόνα, είναι πραγματική.

Μέγεθος των κυττάρων

Τα κύτταρα, για να διατηρούν τη λειτουργικότητά τους, είναι υποχρεωμένα να βρίσκονται σε μια διαρκή ανταλλαγή ουσιών με το περιβάλλον τους. Όμως τόσο η εισαγωγή χρήσιμων ουσιών από το περιβάλλον τους όσο και η αποβολή άχρηστων ουσιών σ' αυτό γίνεται μέσω της εξωτερικής επιφάνειάς τους. Όσο μεγαλύτερη είναι λοιπόν η επιφάνεια αυτή τόσο μεγαλύτερη είναι και η δυνατότητα ανταλλαγής ουσιών με το περιβάλλον.

Στο κύτταρο, εκτός από την ανταλλαγή ουσιών, η οποία καλύπτει τις μεταβολικές ανάγκες του, γίνεται και ανταλλαγή ουσιών - μηνυμάτων. Χάρη στα μηνύματα αυτά το κύτταρο «επικοινωνεί» με το περιβάλλον του και «αντιλαμβάνεται» τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό. Με βάση τις πληροφορίες αυτές εναρμονίζει τις λειτουργίες των επιμέρους τμημάτων του. Η μεταβίβαση των μηνυμάτων από το εξωτερικό στο εσωτερικό του κυττάρου, αλλά και στο εσωτερικό μεταξύ των διαφορετικών περιοχών του, θα πρέπει να γίνεται με ταχύτητα. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί μόνο αν το κύτταρο έχει σχετικά μικρό όγκο.

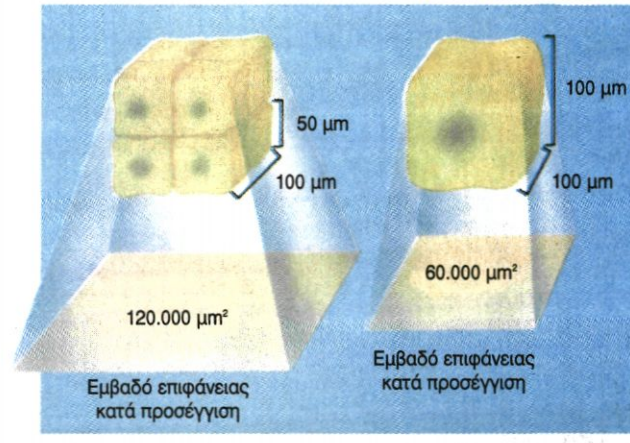
Πράγματι, το σχήμα των κυττάρων είναι τέτοιο, ώστε αυτά να έχουν μικρό όγκο και συγχρόνως τη μεγαλύτερη δυνατή επιφάνειαπου αντιστοιχεί στον όγκο αυτό. Έτσι ικανοποιούν ταυτόχρονα και τις δύο προϋποθέσεις: μεγάλη επιφάνεια για άνετες ανταλλαγές ουσιών και υποδοχή μηνυμάτων, και μικρό όγκο για έγκαιρη μεταβίβαση των μηνυμάτων στο εσωτερικό του κυττάρου.

Πολυπλοκότητα της κατασκευής διαμερισματοποίηση

Είναι μάλλον εύκολο να συμφωνήσουμε ότι το σύνολο των εξαρτημάτων ενός αποσυναρμολογημένου ρολογιού δεν μπορεί από μόνο του να μας δείξει την ώρα. Έτσι και ένα υδατικό διάλυμα, που περιέχει στη σωστή αναλογία όλα τα συστατικά μέρη ενός κυττάρου, δεν μπορεί να εκδηλώσει το φαινόμενο της ζωής.

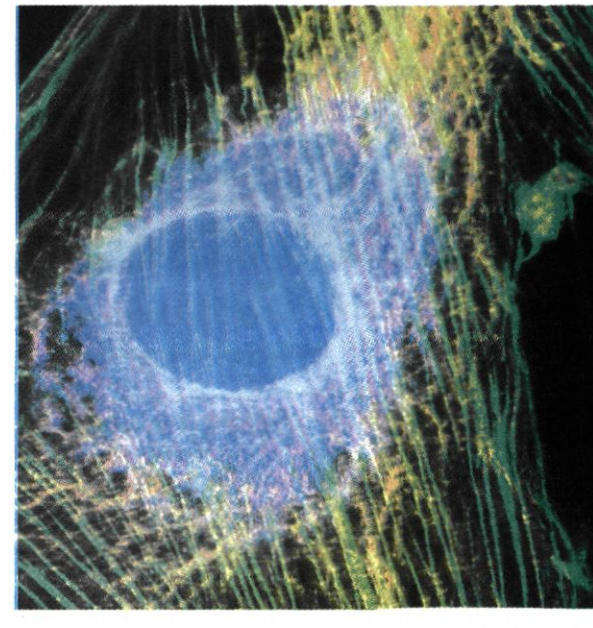
Αυτό που λείπει και στις δύο περιπτώσεις είναι εκείνη η οργανωμένη δομή που θα εξασφάλιζε τη συνεργασία των μερών, ώστε τελικά μέσα από αυτή τη συνεργασία να αναδειχτεί μια ενιαία λειτουργία.

Στις σελίδες που θα ακολουθήσουν δε θα ασχοληθούμε βέβαια με τα ρολόγια. Σε ό,τι αφορά όμως τα κύτταρα, θα προσπαθήσουμε να βρούμε την απάντηση «διερευνώντας» τη δομή και τις επιμέρους λειτουργίες τους. Ξεκινώντας την παρατήρησή μας θα συμφωνήσουμε σίγουρα ότι αρκεί μία μόνο ματιά μας στην εικόνα ενός «τυπικού κυττάρου», για να διαπιστώσει κανείς την πολυπλοκότητα της δομής του και την έντονη παρουσία μεμβρανών.



Τα οκτώ μικρά κύτταρα έχουν πολύ μεγαλύτερη επιφάνεια σε σχέση με το ένα κύτταρο που ο όγκος του είναι το σύνολο των δικών τους.

Μεμβράνη το οριοθετεί από το εξωκυτταρικό περιβάλλον. Μεμβράνη περιβάλλει τον πυρήνα του. Μεμβράνες επίσης διασχίζουν το κυτταρόπλασμα, δηλαδή την περιοχή ανάμεσα στην πυρηνική και στην πλασματική μεμβράνη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διαμερισματοποίηση του εσωτερικού του κυττάρου. Καθένα από τα «διαμερίσματα» έχει τη δική του μορφή και λειτουργία. Αυτά τα «διαμερίσματα» είναι τα **κυτταρικά οργανίδια,** που θα τα μελετήσουμε στη συνέχεια.



Τμήμα του κυτταρικού σκελετού. Φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο χρωματικά επεξεργασμένη.

2.2 ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ: ΤΟ ΛΕΠΤΟ ΣΥΝΟΡΟ ΑΝΑΜΕΣΑ ΣΤΗΝ ΑΒΙΑ ΥΛΗ ΚΑΙ ΣΤΗ ΖΩΗ

Πλασματική μεμβράνη ονομάζουμε αυτήν που οριοθετεί το κύτταρο σε σχέση με το εξωτερικό του περιβάλλον. Οι λειτουργίες της, όπως και οι λειτουργίες των υπολοίπων κυτταρικών δομών, απορρέουν από τη δομή της. Είναι λοιπόν λογικό να αρχίσουμε τη μελέτη μας με τη δομή της πλασματικής μεμβράνης.

Δομή της πλασματικής μεμβράνης

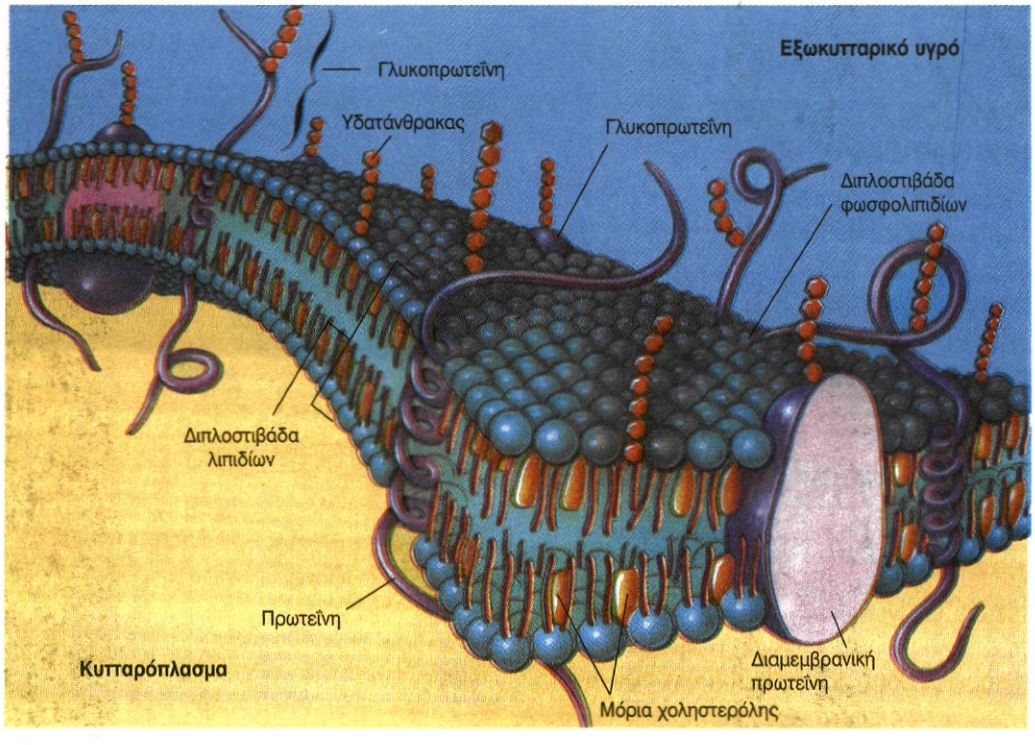
Σήμερα υπάρχουν διάφορα μοντέλα για τη μελέτη της δομής και της λειτουργίας των κυτταρικών μεμβρανών και σ' αυτό βοήθησε η ανάπτυξη της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας και άλλων τεχνικών.

Το μοντέλο που δεχόμαστε σήμερα είναι αυτό του «**ρευστού μωσαϊκού**», που προτάθηκε το 1972 από τους Σ. Σίνγκερ και Τ. Νίκολσον. Σύμφωνα με το μοντέλο αυτό, οι μεμβράνες αποτελούνται από μια διπλοστιβάδα, φωσφολιπιδίων κυρίως, ανάμεσα στα οποία παρεμβάλλονται στεροειδή όπως η χοληστερόλη και πρωτεΐνες, οι οποίες είτε βρίσκονται στην επιφάνεια της μεμβράνης είτε βυθίζονται στο εσωτερικό της είτε τη διαπερνούν κάθετα, σχηματίζοντας ένα είδος μωσαϊκού. Συχνά, πρωτεΐνες αλλά και λιπίδια της πλασματικής μεμβράνης εμφανίζονται συνδεδεμένα με υδατάνθρακες (σάκχαρα). Τα σύνθετα αυτά μόρια ονομάζονται γλυκοπρωτεΐνες ή γλυκολιπίδια αντίστοιχα.

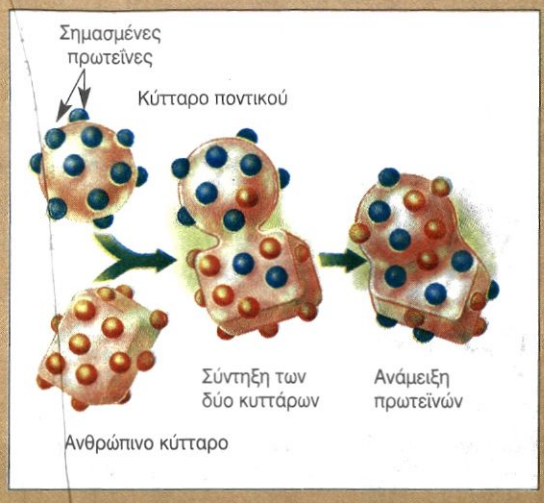
Τα υδρόφιλα τμήματα των λιπιδίων στρέφονται προς το ενδοκυτταρικό και προς το εξωκυτταρικό περιβάλλον, που είναι υδατικά. Αντίθετα τα υδρόφοβα τμήματα, δηλαδή οι ουρές των φωσφολιπιδίων, στρέφονται προς το εσωτερικό της κατασκευής, ώστε να αποφεύγουν την επαφή τους με το νερό.

Οι έλξεις που αναπτύσσονται μεταξύ των υδρόφιλων τμημάτων και των μορίων του νερού, καθώς και οι έλξεις των υδρόφοβων τμημάτων μεταξύ τους, προσδίδουν στη μεμβράνη σταθερότητα, χωρίς παράλληλα να την κάνουν στατική. Η ονομασία «ρευστό μωσαϊκό» αποδίδει ακριβώς τη δυνατότητα που έχουν τα περισσότερα λιπίδια και αρκετές από τις πρωτεΐνες της μεμβράνης να ολισθαίνουν πλαγίως, αλλάζοντας θέση με γειτονικά τους μόρια.

Η διατήρηση της ρευστότητας των μεμβρανών έχει μεγάλη σημασία για τη λειτουργία τους. Μεμβράνες που έχουν «στερεοποιηθεί» παύουν να είναι λειτουργικές, γιατί πολλές από τις πρωτεΐνες τους αδρανοποιούνται.



Μοντέλο «ρευστού μωσαϊκού» για την πλασματική μεμβράνη.

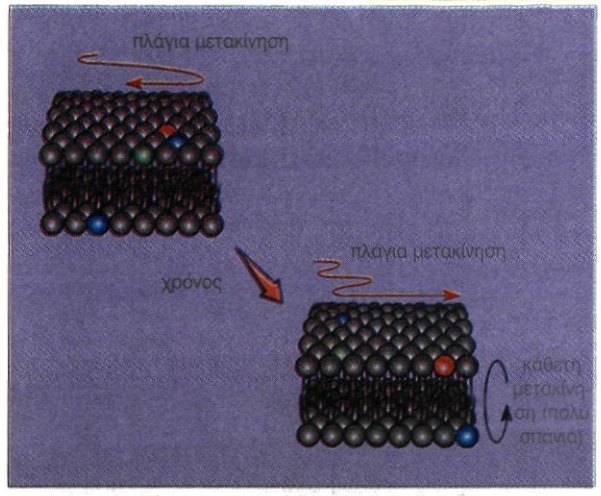


Απόδειξη της δυνατότητας μετακίνησης των πρωτεϊνών της μεμβράνης πλαγίως.

Η ΜΕΤΑΚΙΝΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΕΪΝΩΝ ΤΗΣ ΜΕΜΒΡΑΝΗΣ

Ένα χαρακτηριστικό των μεμβρανών, πολύ σημαντικό για διάφορες λειτουργίες των κυττάρων, είναι η δυνατότητα των πρωτεϊνικών μορίων που τις συνιστούν να μετακινούνται πλαγίως. Δεν ήταν βέβαια από την αρχή γνωστό και πέρασαν πολλά χρόνια ερευνών και τεχνολογικών εξελίξεων, έως ότου προσδιοριστούν με ακρίβεια η δομή και τα λειτουργικά χαρακτηριστικά των μεμβρανών, που οδήγησαν τη σκέψη των ερευνητών προς αυτή την κατεύθυνση. Σήμερα είναι πολύ εύκολο να αποδειχτεί, αλλά και να παρατηρηθεί, η κίνηση των πρωτεϊνικών μορίων της μεμβράνης με φθορίζοντα μόρια. Σημαίνουμε πρωτεϊνικά μόρια της μεμβράνης κυττάρου ποντικού και κυττάρου ανθρώπου με διαφορετικές φθορίζουσες ουσίες. Στη συνέχεια προκαλούμε σύντηξη των δύο κυττάρων. Μετά από μια ώρα οι διαφορετικά σημασμένες πρωτεΐνες βρίσκονται ανακατεμένες σε ολόκληρη την επιφάνεια του κυττάρου που έχει προέλθει από τη σύντηξη των δύο.

Στη διατήρηση της ρευστότητας των μεμβρανών σημαντικό ρόλο παίζει η χοληστερόλη, ένα στεροειδές που παρεμβάλλεται μεταξύ των φωσφολιπιδίων.
Σε ό,τι αφορά το ρόλο των πρωτεϊνών της μεμβράνης, άλλες από αυτές αποτελούν δομικά συστατικά της και άλλες έχουν λειτουργικό ρόλο. Ελέγχουν, για παράδειγμα, την είσοδο ή έξοδο ουσιών, δέχονται και μεταβιβάζουν στο εσωτερικό του κυττάρου μηνύματα από το περιβάλλον κ.ά.



Ορισμένα λιπίδια και πρωτεΐνες έχουν τη δυνατότητα να ολισθαίνουν πλαγίως, και σπάνια κάθετα, αλλάζοντας θέση στην πλασματική μεμβράνη.

Κάθε μεμβράνη που έχει τη χαρακτηριστική δίστιβη δομή που περιγράφηκε ονομάζεται **απλή στοιχειώδης μεμβράνη**.

Λειτουργίες της πλασματικής μεμβράνης

Οι εκφράσεις «εξωτερικό σύνορο του κυττάρου», «όριο ανάμεσα στο κυτταρόπλασμα και στο εξωκυτταρικό περιβάλλον» κ.ά., που αποδίδονται στην πλασματική μεμβράνη, ίσως την αδικούν λιγάκι, γιατί, ενώ προβάλλουν τον παθητικό ρόλο της στην οριοθέτηση του κυττάρου, αποκρύπτουν την καθοριστική συμμετοχή της σε άλλες κυτταρικές λειτουργίες, όπως είναι:

- Ο έλεγχος του είδους των ουσιών που εισέρχονται ή εξέρχονται από το κύτταρο.
- Η υποδοχή και η ερμηνεία μηνυμάτων από το περιβάλλον του κυττάρου.

Μεταφορά ουσιών διαμέσου της πλασματικής μεμβράνης

Είναι εύκολο να κατανοήσουμε ότι αν η μεμβράνη ήταν ένα τελείως αδιαπέραστο περίβλημα, το κύτταρο θα ήταν ανίκανο να προσλάβει τις απαραίτητες θρεπτικές ουσίες, να αποβάλει τα άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού του, αλλά και να εξαγάγει ουσίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αλλού στην περίπτωση πολυκύτταρων οργανισμών. Αν πάλι η μεμβράνη ήταν τελείως διαπερατή από κάθε χημική ουσία, τότε η χημική σύσταση του κυττάρου δε θα μπορούσε να διατηρηθεί.

Θα γινόταν, λόγω διάχυσης, εντελώς όμοια με τη χημική σύσταση του περιβάλλοντός του. Έτσι θα έχανε την υψηλή συγκέντρωση εκείνων των συστατικών που είναι απαραίτητα για την εκδήλωση του φαινομένου της ζωής. Είναι λοιπόν φανερό ότι η δομή της πλασματικής μεμβράνης πρέπει να καθορίζει ποιες από τις διάφορες ουσίες θα τη διαπερνούν εύκολα και ποιες θα τη διαπερνούν δύσκολα ή και καθόλου. Με άλλα λόγια, η μεμβράνη πρέπει να είναι **εκλεκτικά διαπερατή**.

Οι φυσιολόγοι διακρίνουν τρεις κύριους τύπους μεταφοράς ουσιών μέσω της μεμβράνης. Την **παθητική μεταφορά**, την **ενεργητική μεταφορά** και την **ενδοκύττωση** και **εξωκύττωση**.

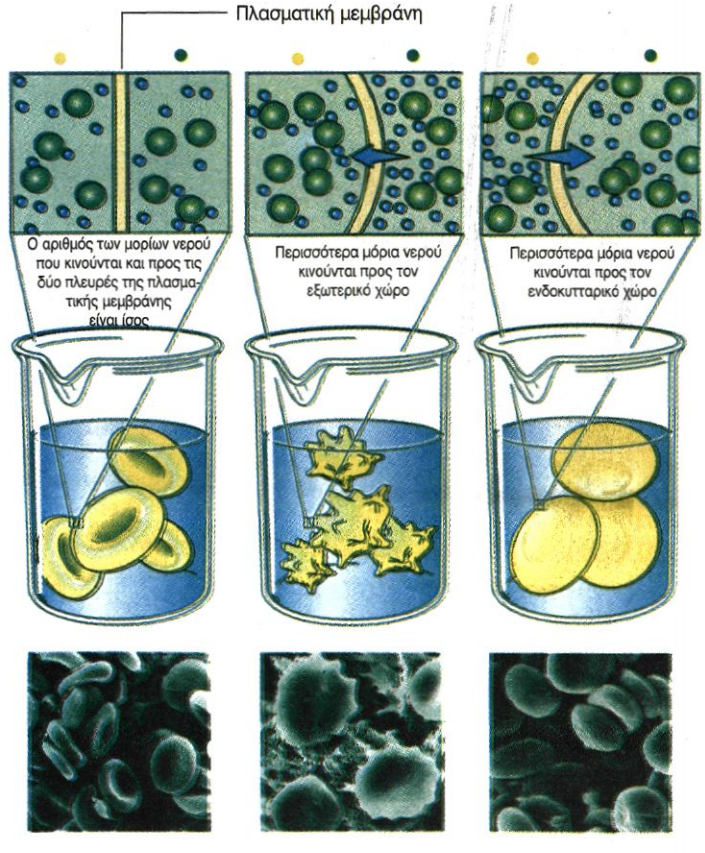
Παθητική μεταφορά

Η παθητική μεταφορά ουσιών δια μέσου της πλασματικής μεμβράνης γίνεται με δύο τρόπους. Με τη διάχυση και την ώσμωση.

Διάχυση: Με τον όρο διάχυση, γενικά, χαρακτηρίζουμε την τάση των μορίων να διασπείρονται από τις περιοχές υψηλής συγκέντρωσης προς τις περιοχές χαμηλής συγκέντρωσης.

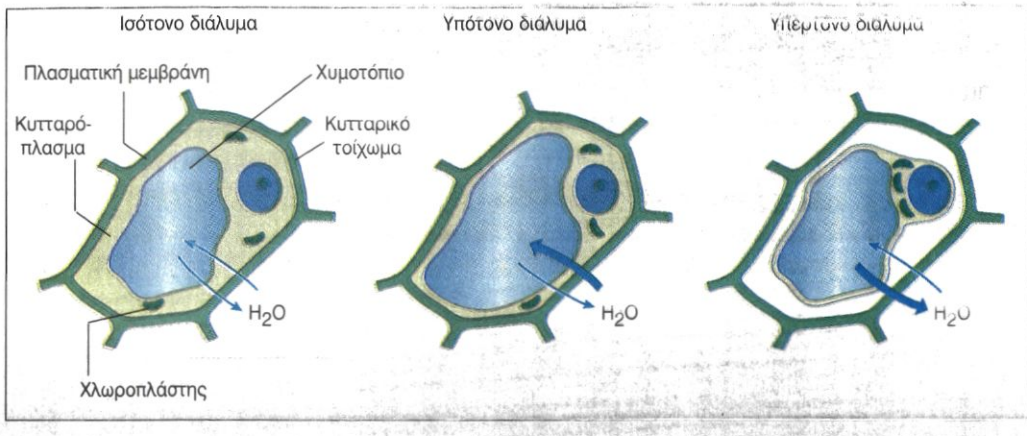
Για παράδειγμα, η συγκέντρωση οξυγόνου στο εξωτερικό του κυττάρου είναι υψηλή σε σχέση με αυτήν στο εσωτερικό του κυττάρου, γιατί εκεί το οξυγόνο καταναλώνεται συμμετέχοντας σε αντιδράσεις του μεταβολισμού. Η διαφορά αυτή στις συγκεντρώσεις οδηγεί τα μόρια του οξυγόνου στο εσωτερικό του κυττάρου. Αντίθετα η υψηλή συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα στο εσωτερικό του κυττάρου (παράγεται συνεχώς κατά τις αντιδράσεις του μεταβολισμού) το οδηγεί έξω από αυτό, όπου η συγκέντρωση είναι χαμηλότερη.

Ώσμωση: Είναι μια ειδική περίπτωση διάχυσης μορίων νερού μέσω μιας ημιπερατής μεμβράνης. Είναι ιδιαίτερα σημαντική διαδικασία για τη ζωή και τη λειτουργικότητα του κυττάρου, γιατί η πλασματική μεμβράνη, ενώ επιτρέπει τη διέλευση μορίων νερού, περιορίζει ή εμποδίζει ολοκληρωτικά τη διέλευση ουσιών που έχουν μεγάλο μέγεθος. Έτσι, όταν η ενδοκυτταρική συγκέντρωση μιας ουσίας είναι μεγαλύτερη από την εξωκυτταρική, για να επέλθει ισορροπία, εισέρχεται νερό στο κύτταρο. Στην αντίθετη περίπτωση, όταν η ενδοκυτταρική συγκέντρωση μιας ουσίας είναι μικρότερη από την εξωκυτταρική, εξέρχεται νερό.



- *Εξωκυτταρικός χώρος*
- *Ενδοκυτταρικός χώρος*
- *Μόρια νερού*

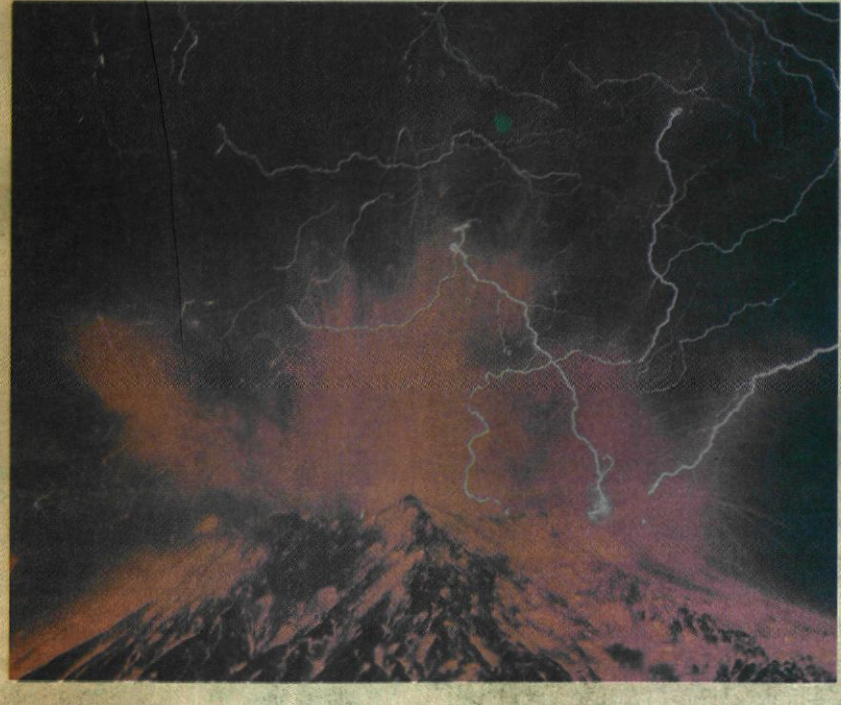
Η ώσμωση σε ζωικά κύτταρα (ερυθρά αιμοσφαίρια.



Η ώσμωση σε φυτικά κύτταρα.

Η ΠΛΑΣΜΑΤΙΚΗ ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΣΤΗΝ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΖΩΗΣ

Πριν από 4 έως 3,5 δισεκατομμύρια περίπου χρόνια, μέσα στις αρχέγονες θάλασσες της Γης, με διαφορετικά δεδομένα σε ότι αφορά τις συνθήκες του περιβάλλοντος, ένα «διάλυμα» από χημικές ουσίες άρχισε να ξεφεύγει από τους απλούς φυσικοχημικούς νόμους και να εκδηλώνει μια υποτυπώδη βιολογική δραστηριότητα. Ήταν ο πρώτος κρίκος στη μακριά αλυσίδα της ζωής, που φτάνει ως τις μέρες μας.



Τίποτε από όσα συνέβησαν στη συνέχεια, σχετικά με την εξέλιξη της ζωής, δε θα ήταν δυνατό να συμβούν, αν το αρχέγονο «διάλυμα» δεν περιβαλλόταν από ένα λεπτό περίβλημα λιποπρωτεϊνών, που το διαχώρισε από το περιβάλλον του και του επέτρεψε να διατηρήσει μια υψηλή συγκέντρωση συστατικών, κρίσιμων για την εμφάνιση της ζωής.

Αν κάποτε το περίβλημα αυτό αποτέλεσε καθοριστικό παράγοντα για την εμφάνιση της ζωής, εξακολουθεί, χωρίς αμφιβολία, να αποτελεί έναν από τους όρους για τη διατήρησή της. Χάρη στην πλασματική μεμβράνη, το λεπτό δηλαδή λιποπρωτεϊνικό στρώμα πάχους μόλις 8nm, τα κύτταρα αποκτούν υπόσταση διαχωριζόμενα από το περιβάλλον τους, ελέγχουν τις ανταλλαγές ουσιών με αυτό και γενικά πραγματοποιούν ένα πλήθος λειτουργιών, που θα ήταν αδύνατο να γίνουν χωρίς αυτήν.

Ενεργητική μεταφορά

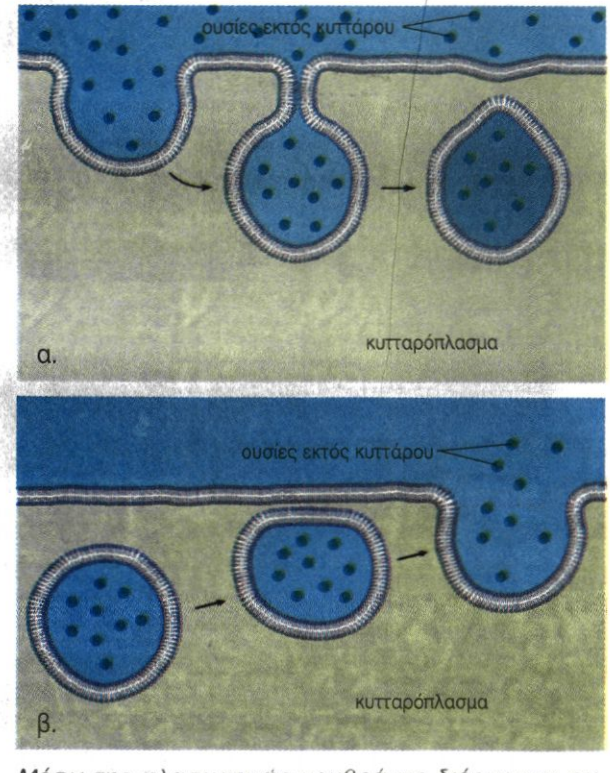
- **Μεταφορά ιόντων - Αντλία K^+- Na^+:** Αν η μεταφορά ουσιών μέσω της κυτταρικής μεμβράνης γινόταν μόνο παθητικά, όπως περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο, τα κύτταρα, αργά ή γρήγορα, θα αποκτούσαν στο εσωτερικό τους τις ίδιες συγκεντρώσεις ουσιών με το εξωκυτταρικό περιβάλλον. Η μελέτη όμως των κυττάρων δείχνει πως αυτό δε συμβαίνει. Στα κύτταρα του ανθρώπου, για παράδειγμα, η ενδοκυτταρική συγκέντρωση των ιόντων K^+ είναι μεγαλύτερη από την εξωκυτταρική και η ενδοκυτταρική συγκέντρωση των ιόντων Na^+ μικρότερη από την εξωκυτταρική και αυτό διατηρείται.
  Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ένας μηχανισμός μεταφοράς, ο οποίος, αντί να μεταφέρει ιόντα από την περιοχή υψηλής συγκέντρωσης προς την περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης, τα μεταφέρει αντίθετα. Η μεταφορά βέβαια στην περίπτωση αυτή δε μπορεί να γίνεται παθητικά και βέβαια προϋποθέτει την κατανάλωση ενέργειας. Είναι δηλαδή ένας μηχανισμός ενεργητικής μεταφοράς ουσιών.
  Ο μηχανισμός που αφορά τα παραπάνω ιόντα χαρακτηρίζεται ως **αντλία K^+- Na^+.** Το ρόλο της αντλίας τον παίζει μια διαμεμβρανική πρωτεΐνη, η οποία για κάθε $3Na^+$, που εξάγει, εισάγει ταυτόχρονα $2K^+$. Ο μηχανισμός αυτός υπάρχει σε όλα τα ζωικά κύτταρα, με ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στη λειτουργία των νευρικών κυττάρων.
  Έχει διαπιστωθεί ότι στα κύτταρα, εκτός από την αντλία K^+ - Na^+, υπάρχουν και άλλοι μηχανισμοί ενεργητικής μεταφοράς διάφορων ουσιών. Κοινό χαρακτηριστικό των μηχανισμών αυτών είναι ότι όλοι χρησιμοποιούν ενέργεια και ότι σε όλους καθοριστικό ρόλο παίζουν συγκεκριμένες πρωτεΐνες της μεμβράνης.

- **Μεταφορά ουσιών μεγάλου μοριακού βάρους:** Εκτός από τα ιόντα ή τις ουσίες μικρού μοριακού βάρους, την πλασματική μεμβράνη υπάρχει δυνατότητα να τη διαπεράσουν και ουσίες μεγάλου μοριακού βάρους, όπως οι πρωτεΐνες ή οι πολυσακχαρίτες, αλλά σε κάποιες περιπτώσεις και μικροοργανισμοί. Αυτό γίνεται με μια διαδικασία που ονομάζεται ενδικύττωση.

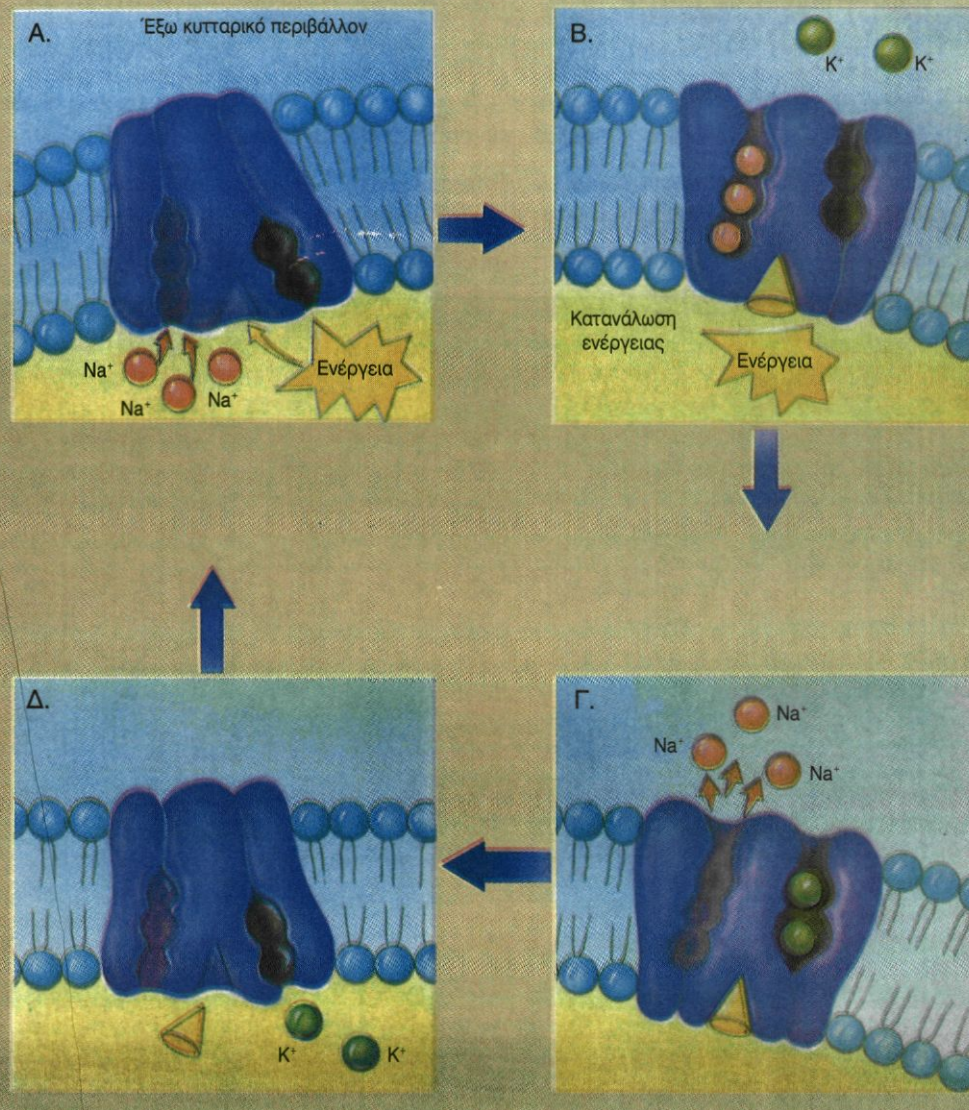
Η **ενδοκύττωση** περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια: (α) Η ουσία περικλείεται στο εσωτερικό μιας εγκόλπωσης, που δημιουργείται από προεκβολές του κυτταροπλάσματος, τα **ψευδοπόδια**. (β) Τα άκρα των ψευδοποδίων ενώνονται, περικλείοντας την εισαγόμενη ουσία. (γ) Η πλασματική μεμβράνη περισφίγγεται και αποκόπτεται με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός κυστιδίου που απελευθερώνεται στο κυτταρόπλασμα.
Το φαινόμενο της ενδοκύττωσης μικροοργανισμών παρατηρείται σε μονοκύτταρους οργανισμούς όπως τα πρωτόζωα αμοιβάδα και Didinium και εξυπηρετεί τη θρέψη τους, αλλά και σε κύτταρα πολυκύτταρων οργανισμών, όπως του ανθρώπου, ως αμυντικός μηχανισμός (λευκά αιμοσφαίρια του αίματος). Στις περιπτώσεις αυτές ονομάζεται και **φαγοκύττωση**.

Η **εξωκύττωση** αποτελεί την αντίστροφη διαδικασία της ενδοκύττωσης. Με τη διαδικασία αυτή τα κύτταρα απομακρύνουν άχρηστα υπολείμματα των τροφών, τοξικές ουσίες ή ουσίες που έχουν παραχθεί σ' αυτά και πρέπει να μεταφερθούν, για να χρησιμοποιηθούν αλλού (διάφορες ορμόνες, πρωτεΐνες, υδατάνθρακες κ.ά.).
Αυτό που πρόκειται να αποβληθεί κλείνεται σε ένα κυστίδιο, το οποίο προσεγγίζει την πλασματική μεμβράνη και περιβάλλεται από αυτήν. Στη συνέχεια η μεμβράνη περισφίγγεται στο συγκεκριμένο σημείο και απελευθερώνει προς την εξωτερική πλευρά του κυττάρου τις ουσίες.

Σημειώνεται ότι τόσο η ενδοκύττωση όσο και η εξωκύττωση γίνονται με κατανάλωση ενέργειας.



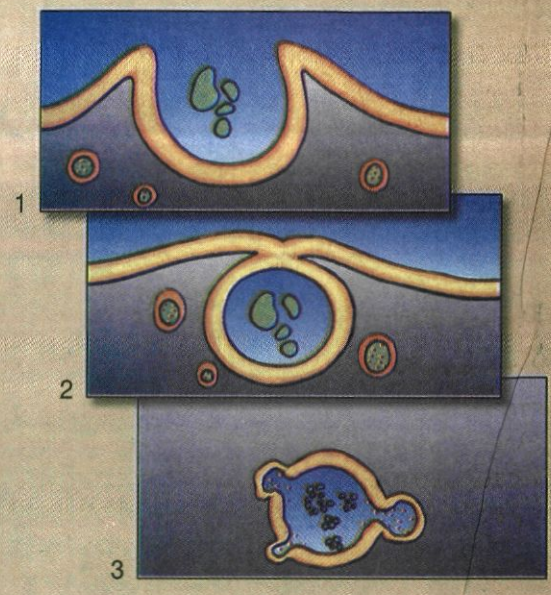
Μέσω της πλασματικής μεμβράνης διέρχονται ουσίες: α) προς το εσωτερικό του κυττάρου (ενδοκύττωση) και β) προς το εξωτερικό του κυττάρου (εξωκύττωση).

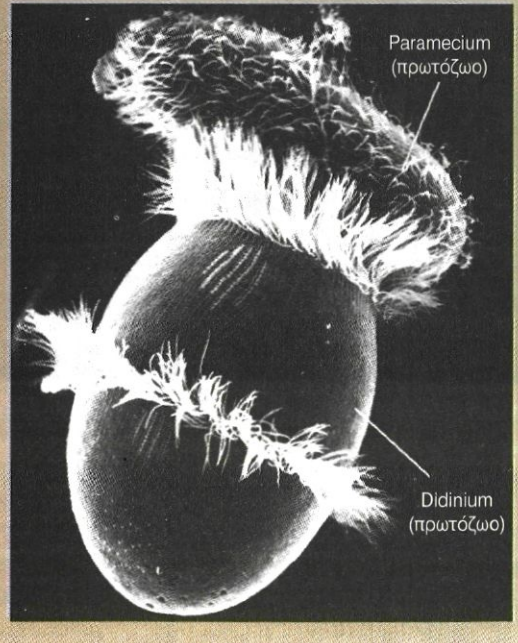


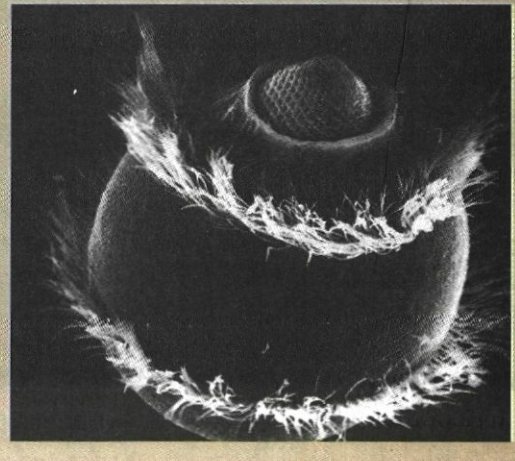
*Η αντλία K^+- Na^+ είναι ένας μηχανισμός στον οποίο βασικό ρόλο παίζει μια διαμεμβρανική πρωτεΐνη, η οποία αλλάζει διάταξη στο χώρο στις διαδοχικές φάσεις της λειτουργίας της. Στη **φάση Α** τρία Na^+ συνδέονται με την πρωτεΐνη στην εσωκυτταρική πλευρά της. Στη **φάση Β** η πρωτεΐνη αλλάζει διάταξη στο χώρο με κατανάλωση ενέργειας που προσφέρεται. Στη νέα μορφή της η πρωτεΐνη έχει ανοίξει προς τα έξω και οι περιοχές σύνδεσής της με τα δύο είδη ιόντων έχουν μεταβληθεί. Η περιοχή σύνδεσης με τα Na^+ δεν ταιριάζει πια με αυτά. Αντίθετα, η περιοχή σύνδεσης με τα K^+ διαμορφώνεται έτσι, ώστε να ταιριάζει μαζί τους. Στη **φάση Γ** η πρωτεΐνη έχει συνδεθεί με 2 εξωκυτταρικά K^+ και έχει απελευθερώσει τα $3Na^+$ στο εξωκυττάριο υγρό. Στη **φάση Δ** η πρωτεΐνη επανέρχεται στην αρχική της διάταξη στο χώρο, ελευθερώνει τα K^+ στο εσωτερικό του κυττάρου και είναι πάλι ικανή να συνδεθεί εκ νέου με Na^+ και να επαναλάβει τον παραπάνω κύκλο, χάρη στον οποίο για κάθε $3Na^+$, που εξέρχονται, εισέρχονται $2K^+$.*

ΜΙΑ ... ΑΚΡΑΙΑ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΕΝΔΟΚΥΤΤΩΣΗΣ

Η φαγοκύττωση αποτελεί μια μορφή ενδκύττωσης κατά την οποία εισέρχονται σε ένα κύτταρο μεγάλα στερεά σωματίδια. Στο διάγραμμα εμφανίζεται η εγκόλπωση του σωματιδίου από την πλασματική μεμβράνη με τη δημιουργία ψευδοποδίων, και η εισαγωγή του μέσα σε ένα κυστίδιο, στο εσωτερικό του κυττάρου. Στην περίπτωση των μικροοργανισμών ή των λευκών αιμοσφαιρίων του αίματος, την αποικοδόμηση αυτού που εισέρχεται στο κύτταρο την αναλαμβάνουν τα υδρολυτικά ένζυμα τα οποία περιέχονται στα λυσοσώματα τα οποία ενώνονται με το κυστίδιο και «αδειάζουν» το περιεχόμενό τους στο εσωτερικό του.







Η εικόνα παρουσιάζει ένα πρωτόζωο, το Didinium (Ντιντίνιουμ) να «τρώει» με φαγοκύττωση ένα άλλο πρωτόζωο το Paramecium (Παραμέτσιουμ).

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Πώς θα σχολιάζατε την πρόταση: «Η κυτταρική μεμβράνη είναι μια δυναμική παρά μια στατική δομή».

Η πλασματική μεμβράνη ως δέκτης μηνυμάτων

Τα κύτταρα δε μπορούν να ζουν απομονωμένα από το περιβάλλον τους ούτε όμως και να το αντιμετωπίζουν απλώς ως το χώρο από τον οποίο θα αποσπάσουν χρήσιμες ουσίες ή θα αποβάλουν τα άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού τους. Αντίθετα ανάμεσα στα κύτταρα και στο περιβάλλον τους (άλλα κύτταρα ή μεσοκυττάριο υγρό) αναπτύσσεται μια διαρκής ανταλλαγή μηνυμάτων, χάρη στην οποία μπορούν:

α. Να αναγνωρίζονται μεταξύ τους. Αν αναγνωρίζονται ως κύτταρα ίδιου τύπου, συνδέονται και συνιστούν ιστούς. Αν αναγνωρίζονται ως ξένα, στο επίπεδο του οργανισμού, κινητοποιούνται μηχανισμοί απόρριψης ή εξόντωσης του ξένου κυττάρου.

β. Να συντονίζουν τη δράση τους. Με τον τρόπο αυτό ο ιστός ή το όργανο στο οποίο ανήκουν εμφανίζει ενιαία λειτουργία.

γ. Να τροποποιούν τη λειτουργία τους. Με τον τρόπο αυτό εξυπηρετούνται σε κάθε περίπτωση οι ανάγκες του οργανισμού παρά τις όποιες μεταβολές του περιβάλλοντος.

Ας δούμε όμως πώς αναγνωρίζονται τα κύτταρα μεταξύ τους, τι είδους μηνύματα είναι αυτά που φτάνουν στα κύτταρα και πώς γίνονται αντιληπτά.

Έχει ήδη αναφερθεί ότι πολλές από τις πρωτεΐνες και τα λιπίδια της πλασματικής μεμβράνης συνδέονται με σάκχαρα και συνθέτουν αντίστοιχα γλυκοπρωτεΐνες και γλυκολιπίδια. Είναι ενδιαφέρον ότι το είδος των σακχάρων, που βρίσκονται συνδεδεμένα με πρωτεΐνες στην πλασματική μεμβράνη των κυττάρων, διαφέρει ανάμεσα στους οργανισμούς διαφορετικού είδους αλλά και στα κύτταρα του ίδιου οργανισμού, που ανήκουν όμως σε διαφορετικούς ιστούς.

Η ποικιλία αυτών των μορίων είναι μεγάλη και ο ρόλος τους στη ζωή του κυττάρου σημαντικός. Μπορούν, για παράδειγμα, να αναγνωρίζουν αντίστοιχα μόρια στην επιφάνεια άλλων κυττάρων. Η αναγνώριση αυτή μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ιστών. Σε ότι αφορά τώρα τα μηνύματα που ανταλλάσονται μεταξύ των κυττάρων, στην πραγματικότητα είναι χημικές ουσίες (π.χ. ορμόνες) οι οποίες εκκρίνονται από ένα όργανο του οργανισμού ή καλύτερα από μια ομάδα κυττάρων, και στοχεύουν στο να ενεργοποιήσουν την λειτουργία ενός άλλου οργάνου, ή μιας άλλης ομάδας κυττάρων. Συνήθως, τα κύτταρα - στόχοι βρίσκονται σε άλλη περιοχή του οργανισμού.

Η μεταφορά των ουσιών - μυνημάτων σε ένα πολυκύτταρο οργανισμό όπως ο άνθρωπος, δεν μπορεί να γίνει παρά μόνο μέσω του κυκλοφοριακού συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι φτάνουν σε όλα τα σημεία του οργανισμού. Θα μπορούσαν να δράσουν σε όλα τα κύτταρα.Δεν γίνεται όμσς έτσι. Για να δράσουν σε ένα κύτταρο, να επηρεάσουν δηλαδή τη λειτουργία του, θα πρέπει να εισέλθουν στο εσωτερικό του. Για να γίνει αυτό πρέπει η ουσία - μύνημα να προσδεθεί στον κατάλληλο υποδοχέα του κυττάρου - δέκτη (π.χ. μια συγκεκριμένη γλυκοπρωτεΐνη). Αυτό βέβαια προϋποθέτει χημική συγγένεια ανάμεσα στα δύο αυτά μόρια. Αν η συγκεκριμένη γλυκοπρωτεΐνη δεν υπάρχει στην επιφάνεια κάποιου κυττάρου, τότε δεν μπορεί να εισέλθει σ' αυτό. Έτσι, ορισμένα μόνο κύτταρα είναι αυτά που τελικά δέχονται το μύνημα και ενεργοποιούνται για τη ζητούμενη λειτουργία.

Με τον τρόπο αυτό τα κύτταρα δέχονται και ερμηνεύουν ένα πλήθος διαφορετικών μηνυμάτων, που επηρεάζουν τη λειτουργία τους, χωρίς να χρειάζεται οι ουσίες – μηνύματα να διαπερνούν την πλασματική μεμβράνη τους.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Σε πολλά είδη, συμπεριλαμβανομένου και του ανθρώπου, τα σπερματοζωάρια έχουν επιφανειακές πρωτεΐνες, οι οποίες συνδέονται σε ειδικούς υποδοχείς της επιφάνειας του ωαρίου. Πώς αυτή η πληροφορία θα μπορούσε να αξιοποιηθεί, για να αναπτυχθούν δύο διαφορετικές μέθοδοι αντισύλληψης;

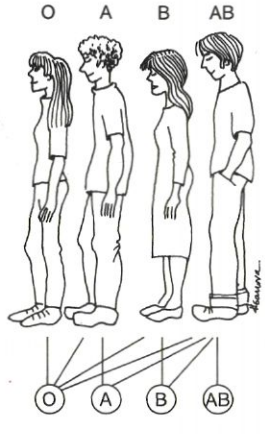
ΟΜΑΔΕΣ ΑΙΜΑΤΟΣ - ΠΑΡΑΓΟΝΤΑΣ ΡΕΖΟΥΣ (RHESUS) ΑΝΤΙΓΟΝΑ ΙΣΤΟΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑΣ

Ομάδες αίματος: *Είναι γνωστό ότι κάθε άτομο που έχει ανάγκη αίματος μπορεί να δεχτεί αίμα της ίδιας ομάδας ή μιας άλλης που, όπως λέγεται, «είναι συμβατό» με τη δική του. Με βάση το σύστημα ΑΒΟ διακρίνουμε τέσσερις ομάδες αίματος, τις Α, Β, ΑΒ και Ο. Ο διαχωρισμός σε ομάδες γίνεται ανάλογα με την παρουσία ή την απουσία των πρωτεϊνών Α ή Β στην επιφάνεια των ερυθροκυττάρων. Οι πρωτεΐνες Α και Β δρουν ως αντιγόνα (συγκολλητινογόνα).*
Έχει διαπιστωθεί ότι τα άτομα με ομάδα αίματος Α έχουν στο αίμα τους συγκολλητίνες (αντισώματα) έναντι των συγκολλητινογόνων Β (αντί-Β).

Χαρακτηριστικά ομάδων αίματος με βάση το σύστημα ΑΒΟ

ΟΜΑΔΑ	Α	Β	ΑΒ	Ο
αντιγόνο (ερυθρά)	Α	Β	Α+Β	απουσία αντιγόνου Α ή Β
συγκολλητίνη: (πλάσμα)	αντί-Β	αντί-Α	απουσία συγκολλητίνης	αντί-Α+αντί-Β

Δυνατές περιπτώσεις μετάγγισης αίματος



Ομάδα δότη.

Τα άτομα με ομάδα αίματος Β έχουν συγκολλητίνες αντί-Α, τα άτομα ομάδας αίματος ΑΒ δεν έχουν καθόλου συγκολλητίνες, ενώ τα άτομα ομάδας αίματος Ο έχουν και τα δύο είδη συγκολλητινών. Στον ελληνικό πληθυσμό η συχνότητα των ομάδων αίματος είναι περίπου 40% για την Α, 14% για τη Β, 4% για την ΑΒ και 42% για την Ο.
Αν σ' ένα άτομο ενεθεί αίμα ομάδας που δε «συμφωνεί» με τη δική του, δηλαδή τα συγκολλητινογόνα που έχει είναι διαφορετικά από τα δικά του, τότε οι συγκολλητίνες που διαθέτει συγκολλούν τα «ξένα» ερυθρά, με αποτέλεσμα τη δημιουργία θρόμβων, που μπορεί να προκαλέσουν σοβαρά προβλήματα στην υγεία του δέκτη. Οι συγκολλητίνες του δότη δε δημιουργούν συνήθως προβλήματα, γιατί είναι σε μικρή ποσότητα και αραιώνονται στο αίμα του δέκτη.

Στο σχήμα φαίνονται οι δυνατές περιπτώσεις μετάγγισης αίματος. Η ομάδα Ο δίνει σε όλες τις ομάδες (πανδότης), η ΑΒ δίνει μόνο σε ΑΒ, ενώ δέχεται από όλες (πανδέκτης).

Παράγοντας Ρέζους: *Στην επιφάνεια των ερυθροκυττάρων υπάρχει ένα άλλο αντιγόνο, που παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τον άνθρωπο. Είναι η πρωτεΐνη Ρέζους (Rhesus), που πήρε το όνομά της από τους πιθήκους Ρέζους (Rhesus), στους οποίους απομονώθηκε αρχικά. Τα άτομα που έχουν στην επιφάνεια των ερυθρών τους αιμοσφαιρίων τον παράγοντα Ρέζους χαρακτηρίζονται ως Ρέζους θετικά (Rh^+) και είναι περίπου το 85%. Τα άτομα που δε διαθέτουν αυτόν τον παράγοντα χαρακτηρίζονται ως Ρέζους αρνητικά (Rh^-). Τα Rh^- άτομα αντιμετωπίζουν πρόβλημα σε περίπτωση μετάγγισης αίματος από Rh^+ άτομο ή, σε περίπτωση εγκυμοσύνης, όταν η μητέρα είναι Rh^- και το έμβρυο Rh^+. Στην περίπτωση αυτή δημιουργούνται στο σώμα των Rh^- ατόμων αντισώματα έναντι του παράγοντα Ρέζους του δότη ή του εμβρύου. Αυτά μπορεί να προκαλέσουν συγκόλληση ερυθρών με απρόβλεπτες συνέπειες για την υγεία, κυρίως του εμβρύου. Στην περίπτωση της Rh^- μητέρας αποφεύγουμε τα προβλήματα με τη χορήγηση αντισωμάτων έναντι του παράγοντα Ρέζους αμέσως μετά τον τοκετό, αν το έμβρυο είναι Rh^+. Αυτά εξουδετερώνουν τα αντιγόνα των ερυθρών αιμοσφαιρίων του εμβρύου που έχουν εισέλθει στην κυκλοφορία του αίματος της μητέρας. Για τον παράγοντα Ρέζους δεν υπάρχουν ουσίες αντίστοιχες των συγκολλητινών (αντισώματα), που να περιέχονται φυσιολογικά στο αίμα. Αντισώματα παράγονται μόνο ύστερα από έκθεση του ατόμου σε ερυθρά αιμοσφαίρια που φέρουν το αντιγόνο.*

Αντιγόνα ιστοσυμβατότητας (HLA σύστημα): *Σε διάφορα εμπύρηνα είδη κυττάρων του ανθρώπινου οργανισμού, π.χ. λεμφοκύτταρα, υπάρχουν πρωτεΐνες χαρακτηριστικές του ατόμου. Αν αυτές ενωθούν σε άλλο άτομο, δρουν σαν αντιγόνα και προκαλούν την παραγωγή αντισωμάτων. Αποτέλεσμα είναι το μπλοκάρισμα και η καταστροφή των κυττάρων που τις φέρουν. Τις πρωτεΐνες αυτές τις ονομάζουμε* **αντιγόνα ιστοσυμβατότητας**. *Αυτά τα αντιγόνα αποτελούν τη βάση του προβλήματος των ατόμων που πρόκειται, για κάποιο λόγο, να δεχτούν μόσχευμα. Γιατί, αν τα αντιγόνα ιστοσυμβατότητας των κυττάρων του μοσχεύματος είναι διαφορετικά από εκείνα του δέκτη, τότε ο οργανισμός του τα αναγνωρίζει ως ξένα και ενεργοποιείται ο ανοσοποιητικός μηχανισμός. Αποτέλεσμα αυτού είναι τα κύτταρα που τα φέρουν (και επομένως ολόκληρο το μόσχευμα) να απομονώνονται από την κυκλοφορία του αίματος, να νεκρώνονται και τελικά το μόσχευμα να αποβάλλεται.*

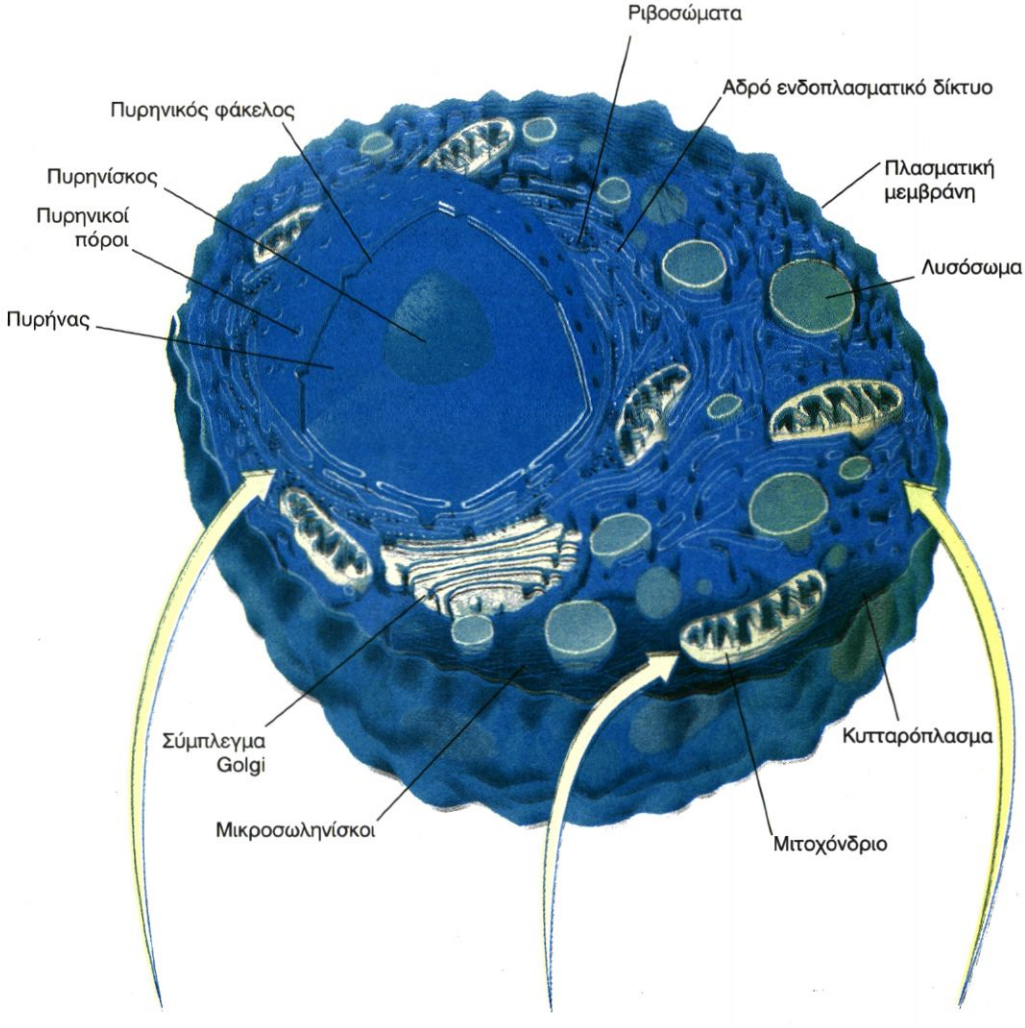
Από τη συμβατότητα (ομοιότητα) των συγκεκριμένων αντιγόνων δότη και δέκτη εκτιμάται η πιθανότητα αποδοχής ενός μοσχεύματος από τον οργανισμό του δεύτερου.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

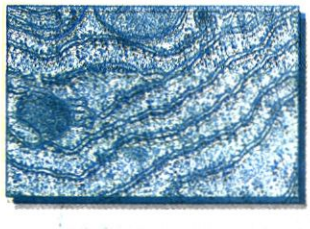
Με ποια παραδείγματα θα μπορούσαμε να αιτιολογήσουμε το ότι οι διαφορές που υπάρχουν στα επιμέρους χαρακτηριστικά της πλασματικής μεμβράνης των διαφορετικών ειδών κυττάρων του ανθρώπινου οργανισμού εξυπηρετούν τη δομή και τη λειτουργία του κυττάρου;

2.3 ΜΙΑ ΠΕΡΙΗΓΗΣΗ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

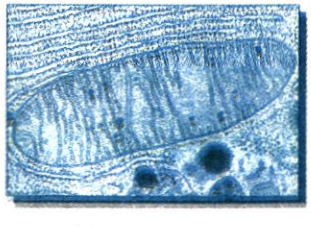
Αν παρατηρήσουμε ένα ευκαρυωτικό κύτταρο στο οπτικό μικροσκόπιο, δε θα δούμε τίποτε περισσότερο από μια οριοθετημένη ομογενή μάζα, μέσα στην οποία συνήθως διακρίνεται ο πυρήνας. Κάτι τέτοιο περίπου έβλεπαν και οι πρωτοπόροι της βιολογικής έρευνας με τα ατελή μικροσκόπια της εποχής τους. Αυτό τους έκανε να πιστεύουν ότι η ημίρρευστη μάζα του κυττάρου είναι η βασική ουσία της έμβιας ύλης, η ουσία δηλαδή από την οποία απορρέουν όλες οι ζωτικές λειτουργίες. Γι' αυτό άλλωστε την ονόμασαν **πρωτόπλασμα**.



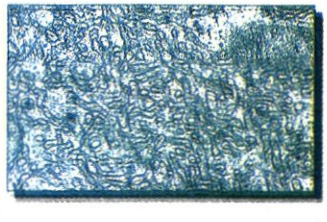
Αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο



Μιτοχόνδριο

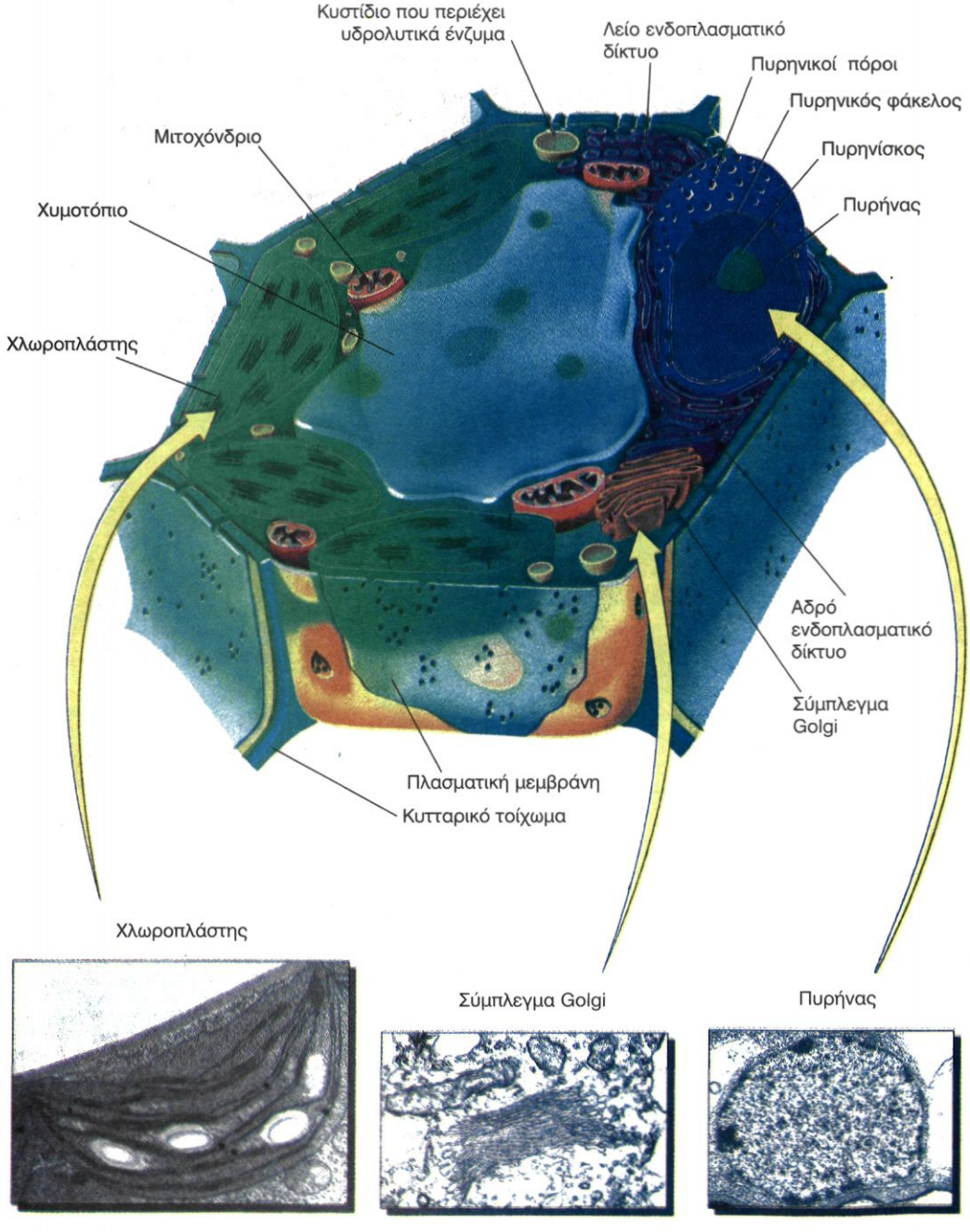


Λείο ενδοπλασματικό δίκτυο



Τυπικό ζωικό κύτταρο.

Σήμερα, χάρη στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο και στις σύγχρονες μεθόδους βιοχημικής ανάλυσης, γνωρίζουμε ότι τα κύτταρα έχουν πολύπλοκη εσωτερική οργάνωση. Στο **κυτταρόπλασμά** τους, όπως έχει καθιερωθεί πλέον να ονομάζεται το πρωτόπλασμα, υπάρχει ένα πλήθος διαφορετικών δομών, που ονομάζονται **οργανίδια**. Καθένα από αυτά είναι ικανό για μια συγκεκριμένη λειτουργία. Κάποια οργανίδια έχουν αναλάβει την αξιοποίηση, προς όφελος του κυττάρου, ενέργειας που μπορούν να δεσμεύσουν από το εξωτερικό περιβάλλον. Άλλα παράγουν πρωτεΐνες, άλλα είναι υπεύθυνα για την κίνηση των κυττάρων κ.ο.κ. Όποια κι αν είναι όμως η λειτουργία που έχουν αναλάβει να κάνουν, υπακούουν πάντα στις εντολές που εκπορεύονται από το ίδιο «κέντρο ελέγχου», τον **πυρήνα** του κυττάρου.



Τυπικό φυτικό κύτταρο.

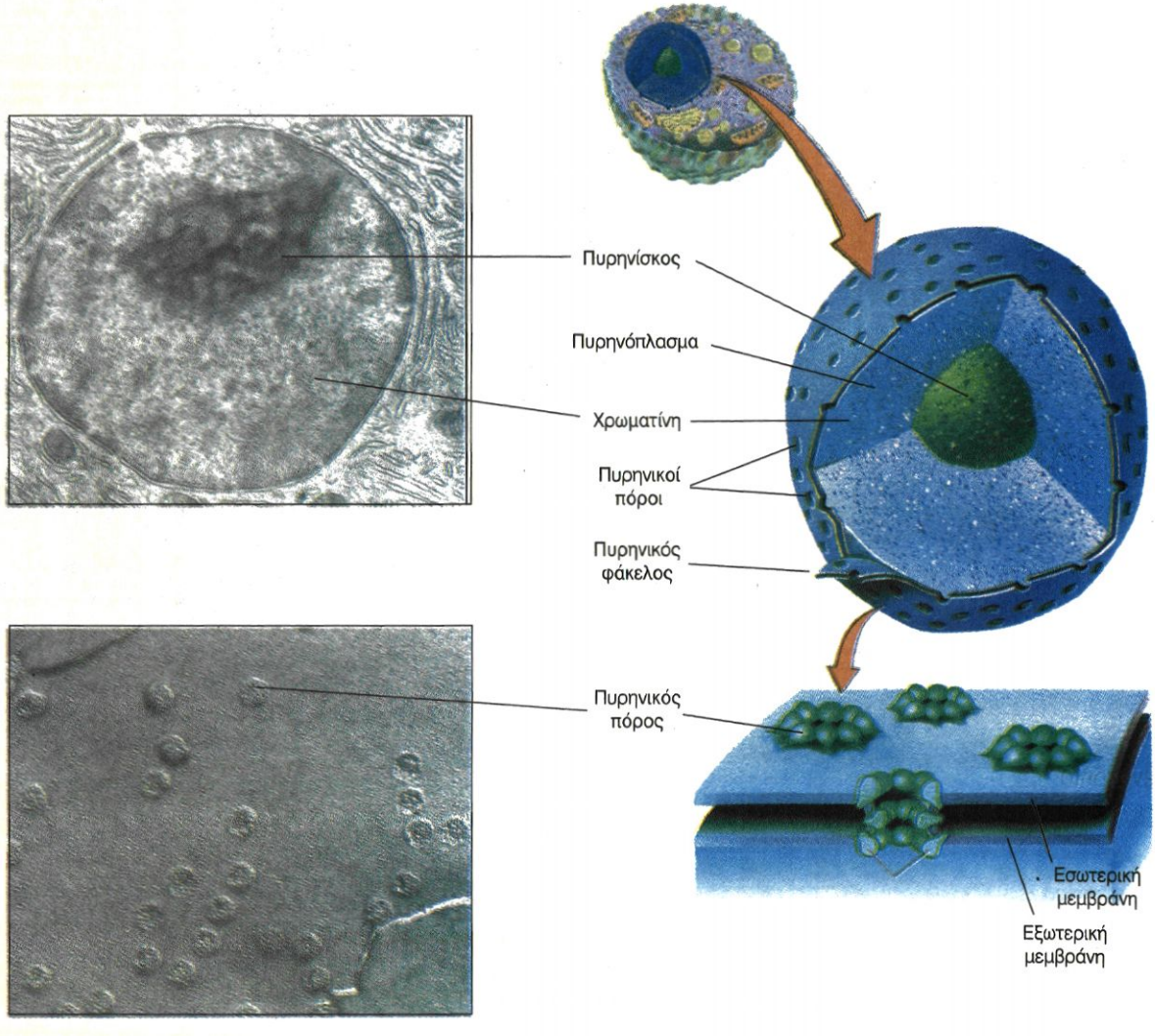
Πυρήνας

Ο πυρήνας είναι το πιο ευδιάκριτο οργανίδιο των ευκαρυωτικών κυττάρων. Κατά κανόνα υπάρχει ένας πυρήνας σε κάθε κύτταρο. Υπάρχουν ωστόσο και κύτταρα με δύο πυρήνες, όπως το κύτταρο του πρωτόζωου Παραμέτσιουμ (Paramecium), ή κύτταρα με πολυάριθμους πυρήνες, όπως ορισμένα μυϊκά. Υπάρχουν όμως και κύτταρα, όπως είναι τα ερυθρά αιμοσφαίρια, που κατά τη διάρκεια της διαφοροποίησής τους χάνουν τον πυρήνα τους.

Το σχήμα του πυρήνα είναι συνήθως σφαιρικό ή ωοειδές και η διάμετρός του, αν και ποικίλλει, προσεγγίζει τα 5 μm. Σε μερικά κύτταρα βρίσκεται περίπου στο κέντρο τους, σε άλλα όμως δε φαίνεται να έχει σταθερή θέση.

Ο πυρήνας περιβάλλεται από τον **πυρηνικό φάκελο** ή **πυρηνική μεμβράνη**, που αποτελείται από δύο στοιχειώδεις μεμβράνες, μια εσωτερική και μια εξωτερική. Η παρατήρηση του πυρηνικού φακέλου με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο δείχνει ότι κατά διαστήματα παρουσιάζει πόρους, που σχηματίζονται από τη συνένωση της εσωτερικής με την εξωτερική μεμβράνη. Οι πυρηνικοί πόροι παίζουν σημαντικό ρόλο στην επικοινωνία του πυρήνα με το κυτταρόπλασμα, γιατί ελέγχουν τα μακρομόρια που ανταλλάσσονται μεταξύ τους.

Το εσωτερικό του πυρήνα καταλαμβάνεται από το **πυρηνόπλασμα**. Είναι μια ημίρρευστη ουσία, στην οποία περιέχονται το σύνολο σχεδόν του DNA του ευκαρυωτικού κυττάρου, ένας ή περισσότεροι πυρηνίσκοι και



Ο πυρήνας περιβάλλεται από διπλή μεμβράνη η οποία ονομάζεται πυρηνική μεμβράνη ή πυρηνικός φάκελος. Στην επιφάνειά της διακρίνονται οι πυρηνικοί πόροι (Σχηματική απεικόνηση και φωτογραφία από μικροσκόπιο).

διάφορες χημικές ενώσεις (νουκλεοτίδια, ένζυμα, πρωτεΐνες κ.ά.).

Ο **πυρηνίσκος** είναι μια δομή που διακρίνεται εύκολα στο μικροσκόπιο από το σφαιρικό σχήμα της και την πυκνή υφή της. Αποτελείται κυρίως από RNA και DNA και δεν περιβάλλεται από στοιχειώδη μεμβράνη. Σ' αυτόν συντίθεται το rRNA (συστατικό των ριβοσωμάτων).

Ο ρόλος του πυρήνα για τη ζωή των κυττάρων είναι σημαντικός, αφού:

α. Φυλάσσει το γενετικό υλικό (DNA). Με βάση τις πληροφορίες που είναι καταγραμμένες σ' αυτό καθορίζονται οι ιδιότητες του κυττάρου, και κατ' επέκταση του οργανισμού, και ελέγχονται όλες οι κυτταρικές δραστηριότητες.

β. Είναι το οργανίδιο στο οποίο διπλασιάζεται το γενετικό υλικό, με τρόπο που εξασφαλίζει τη μεταβίβαση των γενετικών πληροφοριών, αναλλοίωτων, από κύτταρο σε κύτταρο αλλά και από γενιά σε γενιά.

γ. Είναι το οργανίδιο στο εσωτερικό του οποίου συντίθενται τα διάφορα είδη RNA από γενετικές πληροφορίες που φέρει το DNA.

Λεπτομέρειες για τις διαδικασίες αυτές θα γνωρίσουμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Κάτι που δείχνει τη μεγάλη σημασία του πυρήνα για τη ζωή του κυττάρου είναι το γεγονός ότι κύτταρα τα οποία έχασαν τον πυρήνα τους κατά τη διαφοροποίησή τους (π.χ. ερυθρά αιμοσφαίρια) ή κύτταρα από τα οποία αφαιρέθηκε τεχνητά ο πυρήνας δεν αναπαράγονται και εμφανίζουν μικρό αριθμό μεταβολικών διεργασιών και περιορισμένη διάρκεια ζωής.

Ενδομεμβρανικό σύστημα

Σύμφωνα με την αντίληψη που επικρατεί στη σύγχρονη Βιολογία, οι μεμβράνες του κυττάρου συγκροτούν ένα ενιαίο δομικά και λειτουργικά σύνολο, το **ενδομεμβρανικό σύστημα**. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει τα ακόλουθα οργανίδια: ενδοπλασματικό δίκτυο, σύμπλεγμα Golgi, λυσοσώματα, υπεροξειδιοσώματα και κενοτόπια.

• **Ενδοπλασματικό δίκτυο**: Είναι ένα πολυδαίδαλο σύνολο αγωγών και κύστεων το οποίο διασχίζει το κυτταρόπλασμα. Οι μεμβράνες του, που αποτελούν το 50% και πλέον των στοιχειωδών μεμβρανών του κυττάρου, συχνά εμφανίζονται συνδεδεμένες με την πλασματική μεμβράνη, τον πυρηνικό φάκελο ή τις μεμβράνες των υπόλοιπων οργανιδίων. Λόγω αυτών των συνδέσεων το ενδοπλασματικό δίκτυο λειτουργεί ως ένας κοινός αγωγός, που επιτρέπει τη μεταφορά ουσιών μεταξύ των διάφορων τμημάτων του κυτταροπλάσματος και, ίσως, μεταξύ του πυρήνα και του εξωκυτταρικού περιβάλλοντος.

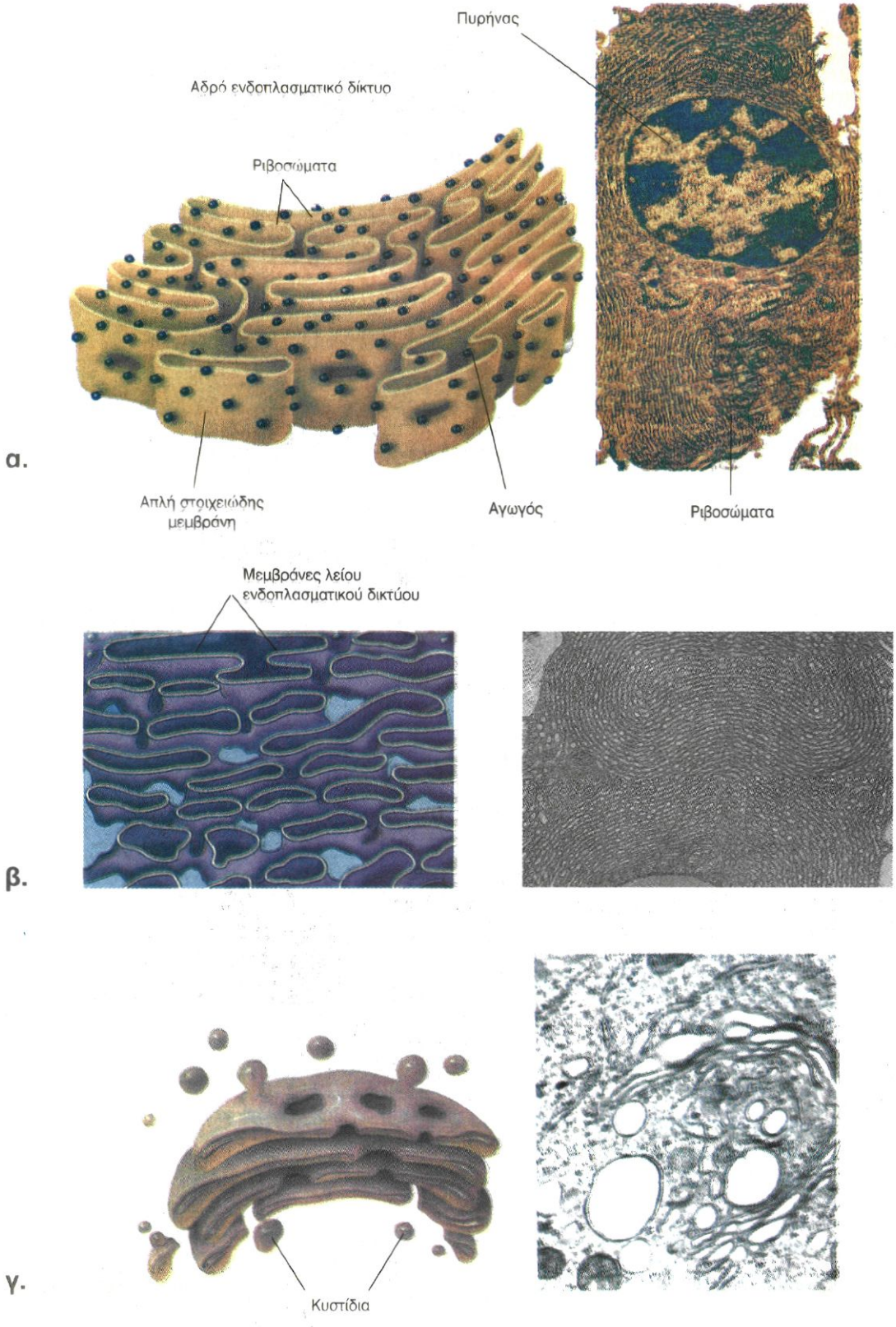
Οι μεμβράνες του παρέχουν επιφάνειες στις οποίες εδράζονται ένζυμα. Σε διαφορετικές περιοχές εδράζονται ένζυμα που εξυπηρετούν διαφορετικές αντιδράσεις του μεταβολισμού.

Στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο παρουσιάζεται με δύο μορφές, το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο και το λείο ενδοπλασματικό δίκτυο. Το **αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο** φέρει στην εξωτερική επιφάνεια των μεμβρανών του μικρούς σχηματισμούς, τα **ριβοσώματα.** Οι σχηματισμοί αυτοί δεν περιβάλλονται από μεμβράνη και αποτελούνται από rRNA και πρωτεΐνες. Στα ριβοσώματα γίνεται η πρωτεϊνοσύνθεση. Στη συνέχεια οι πρωτεΐνες που συντίθενται εισέρχονται στο εσωτερικό των αγωγών. Εκεί ενδέχεται να υποστούν τροποποιήσεις (π.χ. προσθήκη σακχάρων). Ριβοσώματα υπάρχουν όχι μόνο στην επιφάνεια των μεμβρανών του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου, αλλά και ελεύθερα στο κυτταρόπλασμα, καθώς επίσης και στα μιτοχόνδρια και στους χλωροπλάστες. Τα οργανίδια αυτά έχουν τη δυνατότητα να συνθέτουν, ανεξάρτητα από το κύτταρο, πρωτεΐνες που τους είναι απαραίτητες.

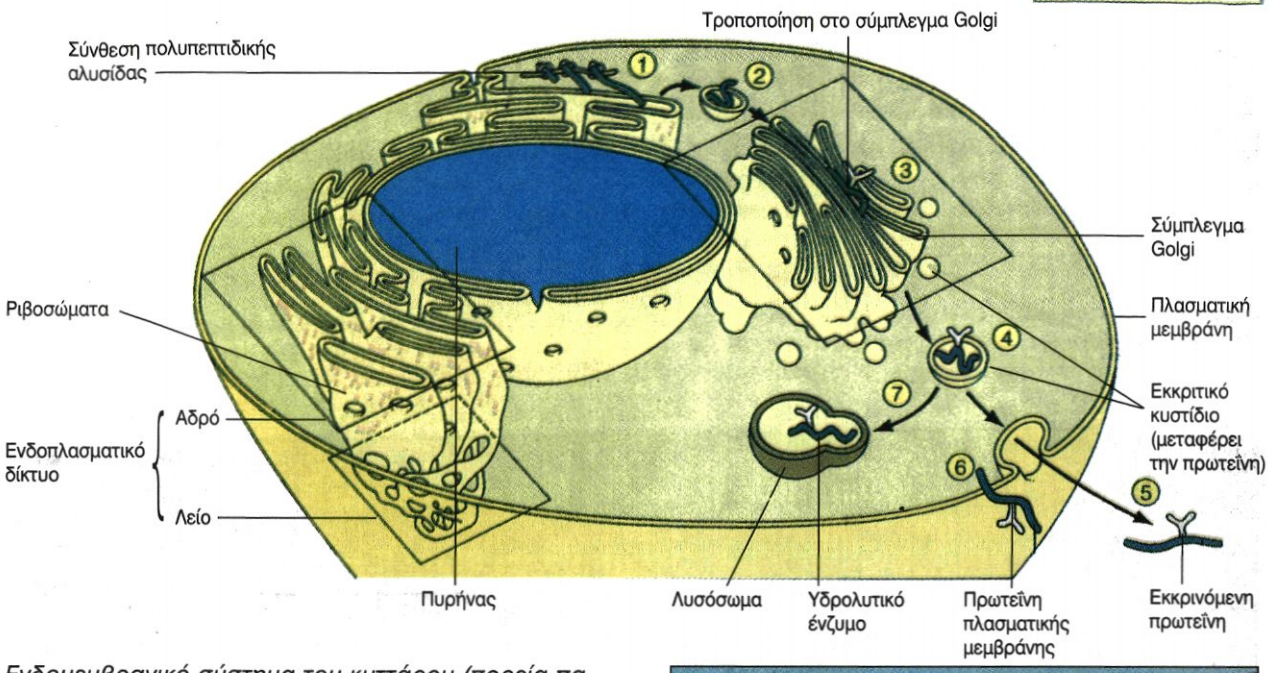
Το **λείο ενδοπλασματικό δίκτυο**, αν και αποτελεί συνέχεια του αδρού, διαφέρει από αυτό, γιατί δε φέρει ριβοσώματα και γιατί έχει περισσότερο σωληνοειδή εμφάνιση. Η λειτουργία του σχετίζεται με τη σύνθεση λιπιδίων και την εξουδετέρωση τοξικών ουσιών.

• **Σύμπλεγμα Golgi**: Αποτελείται από ομάδες παράλληλων πεπλατυσμένων σάκων από στοιχειώδη μεμβράνη. Είναι το οργανίδιο που συγκεντρώνει και τροποποιεί τις πρωτεΐνες που παράγονται στο αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο.

Η μεταφορά των πρωτεϊνών από το ενδοπλασματικό δίκτυο προς το σύμπλεγμα Golgi γίνεται είτε μέσω της φυσικής σύνδεσης των μεμβρανών των δύο οργανιδίων είτε με τη βοήθεια κυστιδίων. Στη δεύτερη περίπτωση, που είναι και η συνηθέστερη, οι πρωτεΐνες που έχουν παραχθεί στα ριβοσώματα του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου συγκεντρώνονται και κλείνονται σε κυστίδια, τα οποία αποκόπτονται από το αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο και συγχωνεύονται με τις μεμβράνες του συμπλέγματος Golgi. Εκεί υποβάλλονται σε μια τελική χημική επεξεργασία (προσθήκη μη πρωτεϊνικών μορίων). Τελικά «πακετάρονται» και πάλι σε κυστίδια. Όσα από τα κυστίδια αυτά περιέχουν πρωτεΐνες, που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε άλλα σημεία του οργανισμού, εξάγονται με τη διαδικασία της εξωκύττωσης. Τα υπόλοιπα μεταφέρουν τις πρωτεΐνες που περιέχουν εκεί όπου τις χρειάζεται το κύτταρο.



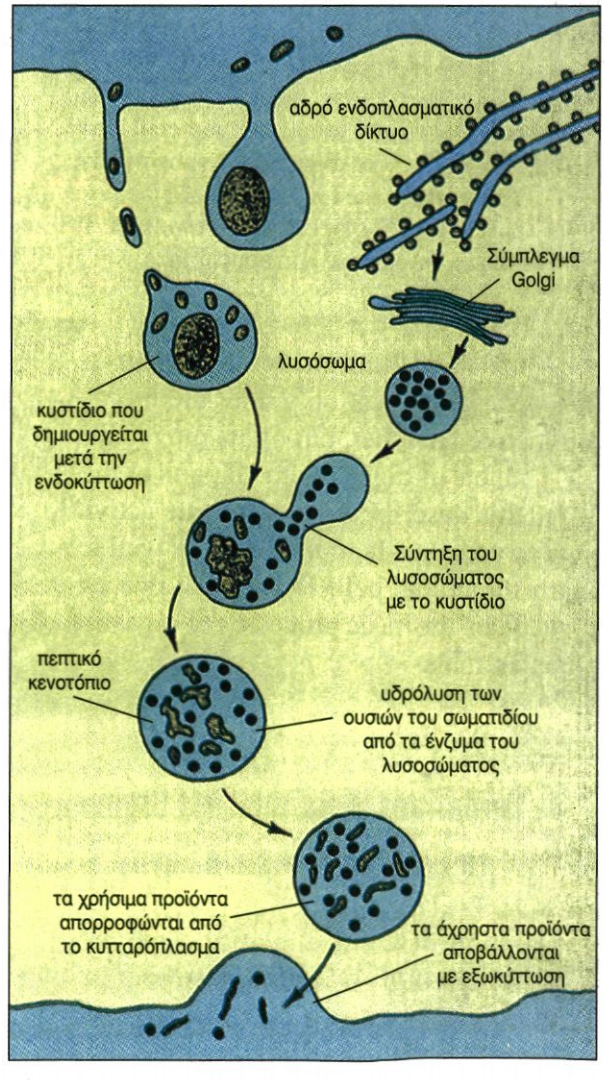
Σχηματική απεικόνηση και φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο: (α) αδρού ενδοπλασματικού δικτύου, (β) λείου ενδοπλασματικού δικτύου, και (γ) συστήματος Golgi.



Ενδομεμβρανικό σύστημα του κυττάρου (πορεία παραγωγής και διάθεσης των πρωτεϊνών).

• **Λυσοσώματα**: Τα λυσοσώματα είναι σφαιρικά οργανίδια που περιβάλλονται από απλή στοιχειώδη μεμβράνη. Περιέχουν υδρολυτικά ένζυμα που βοηθούν στην πέψη μεγαλομοριακών ουσιών ενδοκυτταρικής ή εξωκυτταρικής προέλευσης, αλλά και μικροοργανισμών, που πιθανόν έχουν εισβάλει στο κύτταρο (ζωικό) με τη διαδικασία της ενδοκύττωσης. Αν τα δραστικότατα αυτά ένζυμα δε βρίσκονταν στο εσωτερικό των λυσοσωμάτων, αλλά ήταν ελεύθερα στο κυτταρόπλασμα, τότε γρήγορα θα διασπούσαν και τα συστατικά του ίδιου του κυττάρου, οπότε θα το κατέστρεφαν. Στα φυτικά κύτταρα ως λυσοσώματα λειτουργούν ορισμένα χυμοτόπια.

• **Υπεροξειδιοσώματα**: Είναι μικρά σφαιρικά κυστίδια που περιβάλλονται από απλή στοιχειώδη μεμβράνη και περιέχουν οξειδωτικά ένζυμα. που βοηθούν διάφορες μεταβολικές διεργασίες. Ειδικά στα υπεροξειδιοσώματα των ηπατικών και νεφρικών κυττάρων γίνεται και η μετατροπή του οινοπνεύματος σε ακεταλδεΰδη. Εξασφαλίζεται έτσι η αποτοξίνωση του οργανισμού μας από το οινόπνευμα που καταναλώνουμε. Μια άλλη πολύ σημαντική προσφορά των υπεροξειδιοσωμάτων για τη ζωή του κυττάρου, και κατ' επέκταση του οργανισμού, είναι και η μετατροπή του υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) σε οξυγόνο και νερό. Η μετατροπή αυτή είναι αναγκαία, γιατί το υπεροξείδιο του υδρογόνου που παράγεται κατά τις αντιδράσεις μεταβολισμού είναι ιδιαίτερα τοξικό.

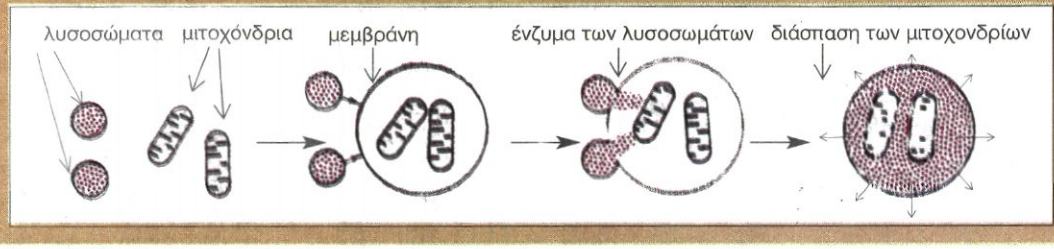


Ο ρόλος των λυσοσωμάτων στην ενδοκυτταρική πέψη.

Η... ΑΛΛΗ ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΛΥΣΟΣΩΜΑΤΩΝ

*Η δράση των λυσοσωμάτων εκδηλώνεται στη **φαγοκυττάρωση**, στην **αυτοφαγία** και στην **αυτόλυση**. Η φαγοκυττάρωση έχει ήδη αναφερθεί. Με την αυτοφαγία τα κύτταρα καλύπτουν τις ενεργειακές ανάγκες τους, όταν βρίσκονται σε συνθήκες ασιτίας. Τα λυσοσώματα περικυκλώνουν ένα οργανίδιο, οι μεμβράνες τους ενώνονται και έτσι δημιουργείται ένα κυστίδιο, που περιέχει το παγιδευμένο οργανίδιο. Τα υδρολυτικά ένζυμα, που απελευθερώνονται στο εσωτερικό του κυστιδίου, διασπούν τα μακρομόρια του οργανιδίου και τα μονομερή, που προκύπτουν από τη διάσπαση, επιστρέφουν στο κυτταρόπλασμα. Κατά την αυτόλυση, το ίδιο το κύτταρο απελευθερώνει τα υδρολυτικά ένζυμα των λυσοσωμάτων στο κυτταρόπλασμά του και έτσι λύεται. Η αυτόλυση είναι η προγραμματισμένη «αυτοκτονία» των κυττάρων. Για παράδειγμα, κατά τη μετατροπή του γυρίνου σε βάτραχο η ουρά αποκόπτεται, με καταστροφή των κυττάρων της, λόγω αυτόλυσης.*

Λύση μιτοχονδρίου με τη βοήθεια των λυσοσωμάτων.



• **Κενοτόπια**: Με τον όρο κενοτόπιο αναφερόμαστε σε κάθε κυστίδιο που περιβάλλεται από απλή στοιχειώδη μεμβράνη και περιέχει ένα υδατώδες υγρό. Στα ζωικά κύτταρα υπάρχουν διάφορα είδη κενοτοπίων. Παράδειγμα αποτελούν τα **πεπτικά κενοτόπια**, που δημιουργούνται κατά την ενδοκύττωση μικροοργανισμών και σωματιδίων τροφής.
Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα κενοτόπια των φυτικών κυττάρων, που ονομάζονται **χυμοτόπια**. Τα χυμοτόπια αποτελούν συνήθως αποθήκες θρεπτικών ουσιών (π.χ. σακχαρόζης), χρωστικών ή ιόντων διαλυμένων στο υδατώδες υγρό. Σε ορισμένες περιπτώσεις αποθηκεύουν επίσης άχρηστα προϊόντα του μεταβολισμού.

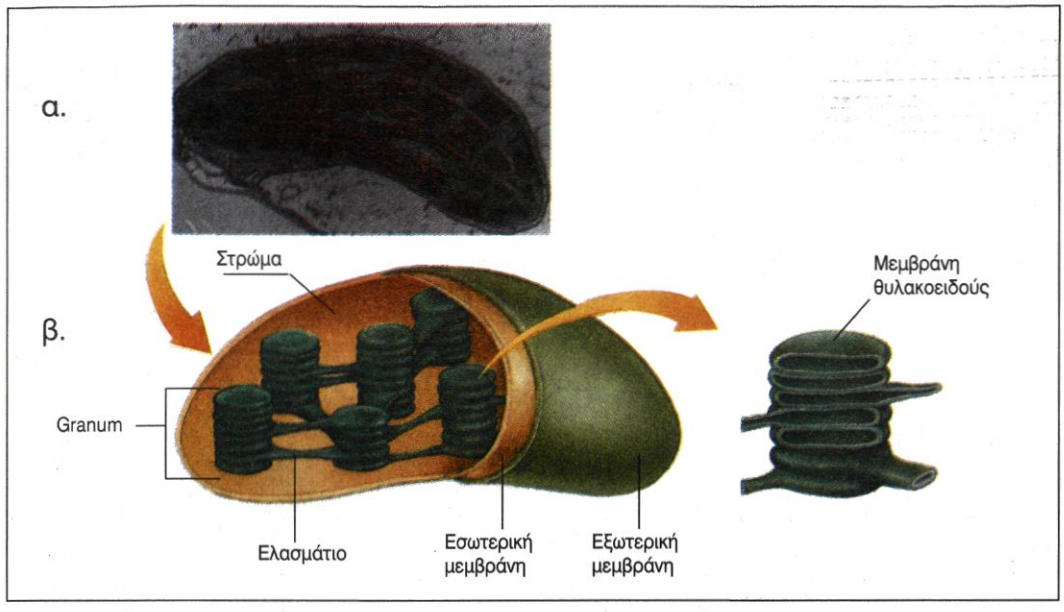
Χλωροπλάστες και μιτοχόνδρια - Οι μετατροπείς ενέργειας των κυττάρων

Τα κύτταρα χρειάζονται ενέργεια, για να διατηρήσουν τη δομή και τη λειτουργικότητά τους. Την ενέργεια αυτή την αντλούν συνεχώς από το περιβάλλον τους. Δεν αρκεί όμως μόνο η εισαγωγή ενέργειας στα κύτταρα. Χρειάζεται και η μετατροπή της σε μορφή τέτοια, που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα κύτταρα για την παραγωγή έργου (μηχανικού, χημικού, μεταφοράς ουσιών κ.τλ.), από το οποίο εξαρτάται η επιβίωσή τους.

Τα οργανίδια του ευκαρυωτικού κυττάρου τα εξειδικευμένα στη μετατροπή της εξωτερικής ενέργειας σε χρησιμοποιήσιμη μορφή είναι οι χλωροπλάστες και τα μιτοχόνδρια.

• **Χλωροπλάστες**: Υπάρχουν μόνο στα κύτταρα των πράσινων τμημάτων των φυτών. Στα οργανίδια αυτά γίνεται η φωτοσύνθεση.
Οι χλωροπλάστες περιβάλλονται από διπλή στοιχειώδη μεμβράνη. Στο εσωτερικό τους υπάρχει μια ρευστή μάζα, το **στρώμα**, στο οποίο περιέχονται πεπλατυσμένα κυστίδια, τα **θυλακοειδή**, που στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο, ώστε να σχηματίσουν σωρούς, τα **grana**, στα οποία περιέχονται μόρια χλωροφύλλης. Υπάρχουν επίσης μεμονωμένες μεμβρανώδεις δομές, τα **ελασμάτια**, που συνδέουν τα **grana** μεταξύ τους.

Στο στρώμα του χλωροπλάστη βρίσκεται και DNA, όπως επίσης ένζυμα και ριβοσώματα, που του επιτρέπουν να διαιρείται και να δίνει θυγατρικά οργανίδια, αλλά και να συνθέτει μερικές από τις πρωτεΐνες του, χωρίς να εξαρτάται ολοκληρωτικά από το γενετικό υλικό του πυρήνα.
Οι χλωροπλάστες ανήκουν σε μια ευρύτερη κατηγορία οργανιδίων των φυτικών κυττάρων, που ονομάζονται **πλαστίδια**. Στα πλαστίδια ανήκουν και οι άχρωμοι **αμυλοπλάστες**, που βρίσκονται στα κύτταρα των ρι-



Η οργάνωση του χλωροπλάστη: (α) ηλεκτρονική μικροφωτογραφία και (β) σχηματική απεικόνιση

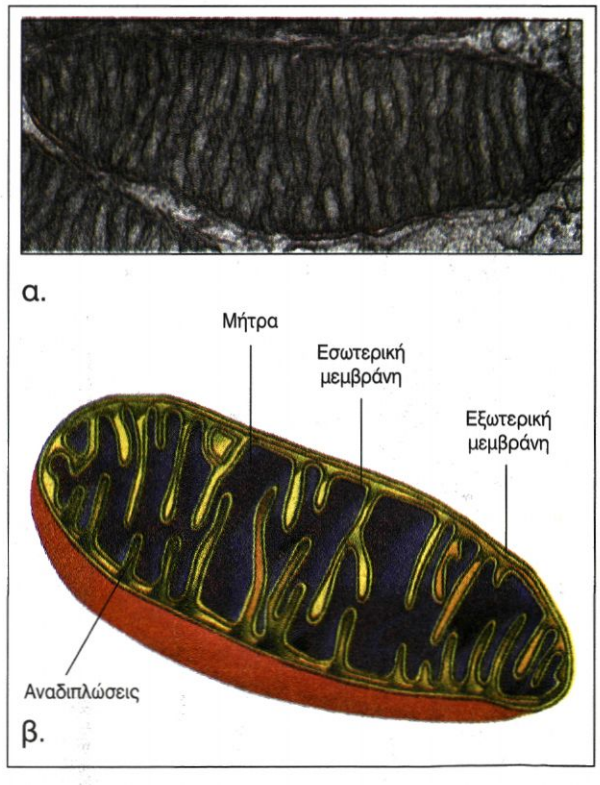
ζών των φυτών και αποτελούν αποθήκες αμύλου, καθώς επίσης οι **χρωμοπλάστες**, που περιέχουν χρωστικές και βρίσκονται στα άνθη, στα φύλλα και στους καρπούς.

• **Μιτοχόνδρια**: Τα μιτοχόνδρια υπάρχουν σε όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα (φωτοσυνθετικά και μη), με εξαίρεση τα ώριμα ερυθρά αιμοσφαίρια. Είναι τα οργανίδια στα οποία γίνεται μετατροπή της ενέργειας σε μορφή που να μπορεί να αξιοποιηθεί για τις διάφορες λειτουργίες του κυττάρου.

Το σχήμα των μιτοχονδρίων ποικίλλει (επίμηκες, σφαιρικό ή ωοειδές), όπως ποικίλλει και ο αριθμός τους στους διάφορους τύπους κυττάρων. Γενικώς, κύτταρα που έχουν υψηλές απαιτήσεις σε χημική ενέργεια, όπως τα μυϊκά, έχουν και πάρα πολλά μιτοχόνδρια, ενώ κύτταρα με μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις έχουν μικρότερο αριθμό μιτοχονδρίων.

Όπως οι χλωροπλάστες, έτσι και τα μιτοχόνδρια περιβάλλονται από διπλή στοιχειώδη μεμβράνη. Η εξωτερική μεμβράνη είναι λεία, ενώ η εσωτερική παρουσιάζει αναδιπλώσεις προς το εσωτερικό του μιτοχονδρίου. Στις αναδιπλώσεις αυτές εντοπίζονται διάφορα ένζυμα. Όπως στους χλωροπλάστες, έτσι και στα μιτοχόνδρια ο χώρος μέσα από την εσωτερική μεμβράνη καλύπτεται από μια παχύρρευστη μάζα, τη **μήτρα** του μιτοχονδρίου.

Στη μήτρα του μιτοχονδρίου, όπως και στο στρώμα του χλωροπλάστη, υπάρχουν DNA, ένζυμα και ριβοσώματα. Τα οργανίδια δηλαδή αυτά διαθέτουν τον απαραίτητο εξοπλισμό, που τους εξασφαλίζει μια σχετική γενετική αυτοδυναμία. Χάρη σ' αυτό το μηχανισμό μπορούν να παράγουν ορισμένες πρωτεΐνες και να διπλασιάζονται ανεξάρτητα από το διπλασιασμό του κυττάρου.



Η οργάνωση του μιτοχονδρίου: (α) ηλεκτρονική μικροφωτογραφία και (β) σχηματική απεικόνιση

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

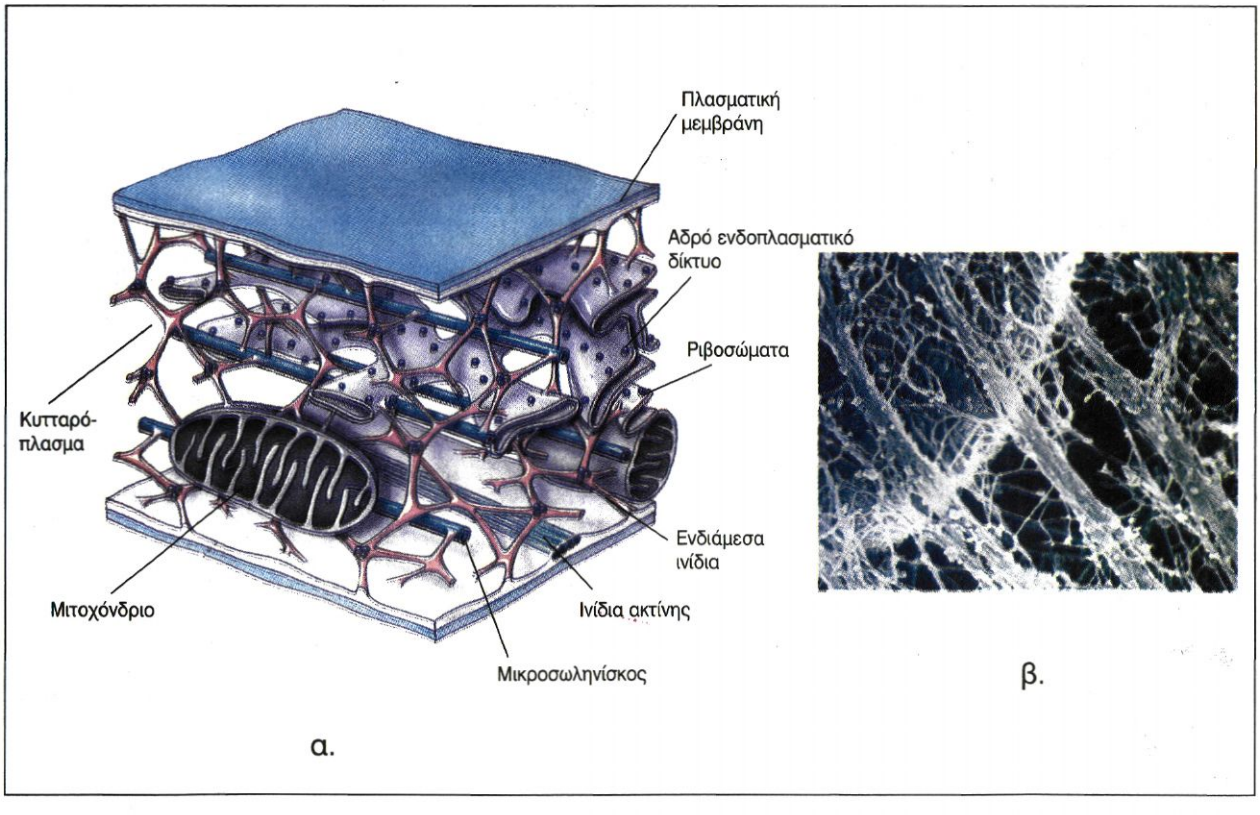
Γιατί ένα μυϊκό κύτταρο περιέχει πολλά μιτοχόνδρια, ενώ ένα λευκό αιμοσφαίριο πολλά λυσοσώματα;

Η σχετική γενετική αυτοδυναμία που διαθέτουν τα μιτοχόνδρια και οι χλωροπλάστες οδήγησε στην υπόθεση ότι πρόκειται για προκαρυωτικούς οργανισμούς, οι οποίοι σε ένα από τα πρώιμα στάδια της εξέλιξης εισέδυσαν στο ευκαρυωτικό κύτταρο και έκτοτε συμβιώνουν με αυτό.

Κυτταρικός σκελετός

Πριν από λίγες μόλις δεκαετίες οι βιολόγοι αντιλαμβάνονταν το εσωτερικό του κυττάρου ως μια ημίρρευστη άμορφη μάζα, μέσα στην οποία αιωρούνταν ή επέπλεαν τα οργανίδια. Οι σύγχρονες όμως τεχνικές της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας έχουν αποκαλύψει ότι το κυτταρόπλασμα των ευκαρυωτικών κυττάρων διασχίζεται από ένα πολύμορφο πλέγμα ινιδίων, τα οποία συγκροτούν τον **κυτταρικό σκελετό**.

Χάρη στον κυτταρικό σκελετό, που αποτελείται από μικροϊνίδια, μακροϊνίδια, ενδιάμεσα ινίδια και μικροσωληνίσκους, τα κύτταρα υποστηρίζονται μηχανικά. Μπορούν έτσι να διατηρούν το σχήμα τους, όπως μπορούν και να το μεταβάλλουν. Χάρη στον κυτταρικό σκελετό τα οργανίδια συγκρατούνται στη θέση τους, αλλά και βοηθούνται στην κίνησή τους στο εσωτερικό του κυττάρου. Στα ζωικά κύτταρα σχηματίζεται από μικροσωληνίσκους το **κεντροσωμάτιο**, το οποίο αποτελείται από δύο κεντρίλια και συμβάλλει στην κυτταρική διαίρεση. Τέλος ο κυτταρικός σκελετός βοηθά την κίνηση και του ίδιου του κυττάρου, όταν αυτό είναι απαραίτητο.



Ο κυτταρικός σκελετός στηρίζει και συγκρατεί τα οργανίδια του κυττάρου στη θέση τους. Τα ινίδια, που τον αποτελούν, διατρέχουν το κύτταρο απ' άκρη σ' άκρη: (α) σχηματική απεικόνιση τμήματος του κυτταρικού σκελετού και (β) φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Κυτταρικό τοίχωμα

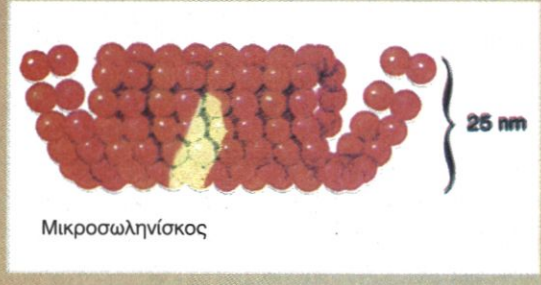
Παρά το ότι η πλασματική μεμβράνη θεωρείται το εξωτερικό σύνορο του κυττάρου, πολλά κύτταρα διαθέτουν και πρόσθετα περιβλήματα. Από τα σημαντικότερα είναι το **κυτταρικό τοίχωμα** των φυτικών κυττάρων, το οποίο αποτελεί στοιχείο διάκρισης ανάμεσα στα φυτικά και στα ζωικά κύτταρα. Είναι ένα σχετικά ανθεκτικό εξωτερικό περίβλημα, που αποτελείται από διάφορους πολυσακχαρίτες. Ο κυριότερος από αυτούς είναι η **κυτταρίνη**.

Το κυτταρικό τοίχωμα είναι συμπαγές και ικανό να ανθίσταται σε ισχυρές πιέσεις. Προστατεύει έτσι το φυτικό κύτταρο από διάρρηξη, όταν βρίσκεται σε υποτονικό περιβάλλον, και, επειδή του προσδίδει ανθεκτικότητα και ελαστικότητα, προσφέρει «σκελετική» υποστήριξη σε ολόκληρο το φυτό.

ΔΟΜΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΙΚΟΥ ΣΚΕΛΕΤΟΥ

Μικροσωληνίσκοι: *Υπάρχουν σε όλα τα είδη των ευκαρυωτικών κυττάρων και εμφανίζονται με τη μορφή κοίλων κυλίνδρων. Το τοίχωμά τους αποτελείται από δύο είδη πρωτεϊνών (τουμπουλίνη α και β). Στα ζωικά κύτταρα οι μικροσωληνίσκοι συμμετέχουν στο σχηματισμό της μιτωτικής ατράκτου και του κεντροσωματίου. Η μιτωτική άτρακτος και το κεντροσωμάτιο, το οποίο έχει τη δυνατότητα να αυτοδιπλασιάζεται, παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαίρεση των ζωικών κυττάρων.*

Κατά τη διαίρεση των φυτικών κυττάρων οι μικροσωληνίσκοι συγκροτούν το



Κεντροσωμάτιο.

φραγμοπλάστη*, ο οποίος προσδιορίζει τη θέση των θυγατρικών κυτταρικών τοιχωμάτων. Τέλος, αποτελούν τα κύρια δομικά συστατικά των βλεφαρίδων και των μαστιγίων, που υπάρχουν σε ορισμένα κύτταρα και εξυπηρετούν την κίνηση ή τη σύλληψη της τροφής.*

Μικροϊνίδια: *Αντίθετα από τους μικροσωληνίσκους, τα μικροϊνίδια είναι συμπαγείς κύλινδροι και έχουν μικρότερη διάμετρο. Αποτελούνται από μία πρωτεΐνη (ακτίνη) και συμβάλλουν στις κυτταρικές κινήσεις. Τα μικροϊνίδια είναι περισσότερο γνωστά από το ρόλο τους στη σύσπαση των μυϊκών κυττάρων.*

Ενδιάμεσα ινίδια: *Όπως φαίνεται και από την ονομασία τους, έχουν διάμετρο ενδιάμεση της διαμέτρου των μικροσωληνίσκων και των μικροϊνιδίων. Αν και δεν είναι γνωστή στις λεπτομέρειές της η λειτουργία τους, πιστεύεται ότι και αυτά συμβάλλουν στη διατήρηση του σχήματος των κυττάρων και στη συγκράτηση των οργανιδίων σε καθορισμένες θέσεις.*

Πίνακας: διαφορές μεταξύ ευκαρυωτικών κυττάρων

ΟΡΓΑΝΙΔΙΟ/ΔΟΜΗ	ΚΥΤΤΑΡΟ	
	ΦΥΤΙΚΟ (φωτοσυνθετικό)	ΖΩΙΚΟ
Πλασματική μεμβράνη	+	+
Κυτταρικό τοίχωμα	+	–
Πυρήνας	+	+
Χρωμοσώματα	+	+
Ριβοσώματα	+	+
Ενδοπλασματικό δίκτυο	+	+
Σύμπλεγμα Golgi	+	+
Λυσοσώματα	– (μερικά χυμοτόπια λειτουργούν ως λυσοσώματα)	+
Υπεροξειδιοσώματα	+	+
Χυμοτόπια	+	–
Χλωροπλάστες	+	–
Μιτοχόνδρια	+	+
Κεντροσωμάτιο	–	+

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Ένα ηπατικό κύτταρο έχει όγκο 5.000 μm³. Η συνολική επιφάνεια των μεμβρανών του (συμπεριλαμβανομένων των εσωτερικών μεμβρανών και της πλασματικής μεμβράνης) είναι 110.000 μm². Ένα κύτταρο του παγκρέατος, που παράγει πεπτικά ένζυμα. έχει όγκο 1.000 μm³ και τελική επιφάνεια μεμβρανών 13.000 μm². Ποιο κύτταρο από τα δύο, και για ποιο λόγο, θα ήταν περισσότερο αποτελεσματικό για τη διεκπεραίωση δραστηριοτήτων που χρειάζονται μεγάλες επιφάνειες μεμβρανών;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η θεμελιώδης δομική και λειτουργική μονάδα όλων των οργανισμών είναι το κύτταρο. Η λειτουργία των οργανισμών είναι το αποτέλεσμα της συλλογικής δράσης και αλληλεπίδρασης των κυττάρων που τους αποτελούν. Το κύτταρο έχει σχετικά μικρό όγκο και περιβάλλεται από την πλασματική μεμβράνη. Η πλασματική μεμβράνη: α) Ελέγχει το είδος των ουσιών που εισέρχονται ή εξέρχονται από το κύτταρο. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με παθητική διάχυση είτε με ενεργητική μεταφορά ή με ενδοκύττωση και εξωκύττωση. β) Συμμετέχει στην υποδοχή και ερμηνεία μηνυμάτων από το περιβάλλον.

Ένα τυπικό κύτταρο περιέχει στο κυτταρόπλασμά του: Τον πυρήνα, που περιβάλλεται από τον πυρηνικό φάκελο και φέρει στο εσωτερικό του το γενετικό υλικό. Το ενδομεμβρανικό σύστημα, που περιλαμβάνει τα οργανίδια: ενδοπλασματικό δίκτυο (αδρό και λείο), σύμπλεγμα Golgi, λυσοσώματα, υπεροξειδιοσώματα και κενοτόπια (πεπτικά ζωικά κύτταρα και χυμοτόπια στα φυτικά). Τους μετατροπείς ενέργειας, δηλαδή τα μιτοχόνδρια και τους χλωροπλάστες. Τον κυτταρικό σκελετό, που αποτελείται από σχηματισμούς πρωτεϊνικής φύσης, τους μικροσωληνίσκους, τα μικροϊνίδια και τα ενδιάμεσα ινίδια.Τα φυτικά κύτταρα διαφέρουν από τα ζωικά, γιατί τα πρώτα περιέχουν χλωροπλάστες, περιβάλλονται από κυτταρικό τοίχωμα και στερούνται κεντροσωματίου.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Περιγράψτε τη δομή της πλασματικής μεμβράνης. Στην απάντησή σας να αναφερθείτε στη διευθέτηση των χημικών μορίων που συνθέτουν τη δομή αυτή και να εξηγήσετε τον τρόπο με τον οποίο η διευθέτηση αυτή επηρεάζει τη λειτουργικότητά της.

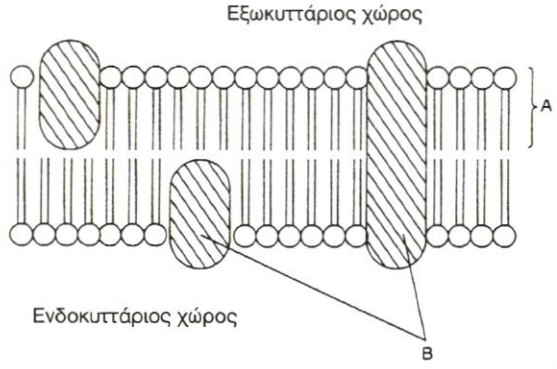
2. Σημειώστε την ένδειξη Σ ή Λ δίπλα σε κάθε πρόταση, ανάλογα με το αν το νόημά της είναι αντίστοιχα σωστό ή λάθος.
   α) Ο πυρήνας του κυττάρου περιβάλλεται από απλή στοιχειώδη μεμβράνη.
   β) Στο λείο ενδοπλασματικό δίκτυο γίνεται το 7% της πρωτεϊνοσύνθεσης ενός ευκαρυωτικού κυττάρου.
   γ) Το σύμπλεγμα Golgi αποτελείται από ομάδες παράλληλων πεπλατυσμένων σάκων.
   δ) Τα υπεροξειδιοσώματα είναι κυτταρικά οργανίδια που δεν περιβάλλονται από καμία μεμβράνη.
   ε) Οπυρηνίσκος του κυττάρου βρίσκεται στο εσωτερικό του μιτοχονδρίου.
   στ) Η πλασματική μεμβράνη είναι διπλή στοιχειώδης μεμβράνη.
   ζ) Στο ενδομεμβρανικό σύστημα του κυττάρου ανήκουν τα υπεροξειδιοσώματα.
   η) Το κυτταρικό τοίχωμα αποτελείται από κυτταρίνη.
   θ) Η αντλία ιόντων K^+ - Na^+ μεταφέρει τα ιόντα έξω και μέσα στο κύτταρο με διαδικασία ίδια με την ώσμωση.
   ι) Οι φυσιολόγοι διακρίνουν 5 τύπους μεταφοράς ουσιών μέσω της κυτταρικής μεμβράνης.
   κ) Κάθε μεμβράνη του κυττάρου που διαθέτει μονόστιβη δομή φωσφολιπιδίων ονομάζεται στοιχειώδης μεμβράνη.
   λ) Στο μοντέλο του υγρού μωσαϊκού η διπλοστιβάδα λιπιδίων αποτελείται από ουδέτερα λιπίδια.
   μ) Κάθε κύτταρο προέρχεται από προϋπάρχον κύτταρο.
   ν) Ευκαρυωτικό κύτταρο είναι αυτό που δε διαθέτει καθόλου πυρήνα.

3. Σημειώστε την ένδειξη Σ ή Λ δίπλα σε κάθε πρόταση, ανάλογα με το αν το νόημά της είναι αντίστοιχα σωστό ή λάθος.
   α) Το σύστημα Golgi περιέχει DNA.
   β) Ο πυρήνας του κυττάρου περιβάλλεται από τον πυρηνικό φάκελο ο οποίος δεν έχει τη δομή στοιχειώδους μεμβράνης.
   γ) Το ενδομεμβρανικό δίκτυο περιλαμβάνει μόνο το ενδοπλασματικό δίκτυο και το σύστημα Golgi.
   δ) Στα ριβοσώματα γίνεται η σύνθεση των πρωτεϊνών.
   ε) Το λείο ενδοπλασματικό δίκτυο περιέχει υδρολυτικά ένζυμα που διασπούν τα συστατικά του κυττάρου.
   στ) 'Ολα τα φυτικά κύτταρα περιέχουν χλωροπλάστες.

4. Σημειώστε την ένδειξη Σ ή Λ δίπλα σε κάθε πρόταση, ανάλογα με το αν το νόημά της είναι αντίστοιχα σωστό ή λάθος.
   α) Στο μιτοχόνδριο παράγεται ενέργεια αξιοποιήσιμη από τα κύτταρα.
   β) Τα πλαστίδια ανήκουν στην ευρύτερη κατηγορία των χλωροπλαστών.
   γ) Μία κατηγορία ριβοσωμάτων είναι οι αμυλοπλάστες.
   δ) Το εσωτερικό των χλωροπλαστών είναι ημίρευστη μάζα και και λέγεται στρώμα.
   ε) Τα υπεροξειδιοσώματα είναι κυστίδια του συμπλέγματος Golgi.
   στ) Τα κύτταρα που διαθέτουν κυτταρικό τοίχωμα δε διαθέτουν κυτταρική μεμβράνη.

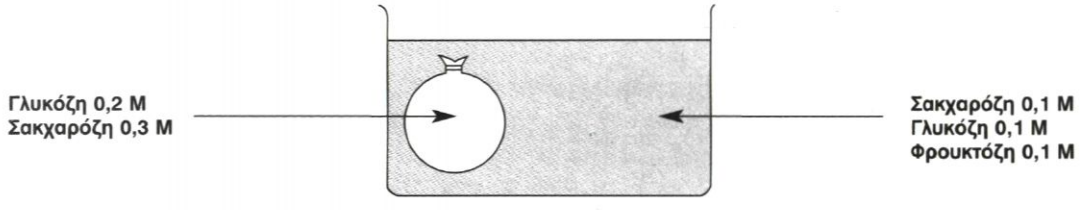
5. Συχνά συναντάμε τους όρους: υδρόφοβοι δεσμοί ή έλξεις μεταξύ υδρόφοβων τμημάτων μακρομορίων. Σε ποιες περιπτώσεις αναφέρονται και ποια η σημασία τους για τα βιολογικά συστήματα.

6. Το διάγραμμα δείχνει τμήμα μιας υποτιθέμενης πλασματικήςμεμβράνης, σύμφωνα με το μοντέλο του «ρευστού μωσαϊκού»:



α. Ονομάστε τα μόρια **A** και **B** που βλέπετε στο διάγραμμα.
β. Γιατί κατά τη γνώμη σας το μοντέλο περιγράφεται ως «ρευστό»;
γ. Να αναφέρετε δύο λειτουργίες της μεμβράνης που έχουν σχέση με τα μόρια **B**.

7. Ένα τεχνητό κύτταρο το οποίο περιβάλλεται από ημιπερατή μεμβράνη και περιέχει ένα διάλυμα σακχαρόζης και γλυκόζης τοποθετείται μέσα σε ένα διάλυμα που περιέχει σακχαρόζη, γλυκόζη και φρουκτόζη. Αν η μεμβράνη του είναι διαπερατή από το νερό και τους μονοσακχαρίτες, αλλά είανι τελείως αδιαπέραστη στους δισακχαρίτες και οι συγκεντρώσεις των σακχάρων είναι αυτές που φαίνονται στο σχήμα, να απαντήσετε στις εξής ερωτήσεις:



1. Ποιο σάκχαρο εξάγεται από το κύτταρο και γιατί;
2. Ποιο σάκχαρο εισάγεται στο κύτταρο και γιατί;
3. Το τεχνητό κύτταρο θα φουσκώσει ή θα συρρικνωθεί και γιατί;

8. Στους πίνακες που ακολουθούν σημαειώνονται οι αρχικές και οι τελικές συγκεντρώσεις (ενδοκυτταρικές και εξωκυτταρικές) τριών ουσιών ενός αερόβιου κυττάρου που διαμετακινήθηκαν μέσω της πλασματικής μεμβράνης.

ΑΡΧΙΚΕΣ			
	Α	Β	Γ
Ενδοκυτταρική συγκέντρωση	0,5 M	0,1 M	0,3 M
Εξωκυτταρική συγκέντρωση	0,5 M	0,5 M	0,7 M

ΤΕΛΙΚΕΣ			
	Α	Β	Γ
Ενδοκυτταρική συγκέντρωση	0,1 M	0,3 M	0,2 M
Εξωκυτταρική συγκέντρωση	0,4 M	0,3 M	0,8 M

Να απαντήσετε στις ακόλουθες ερωτήσεις:
1. Ποια - ες ουσία - ες μεταφέρθηκε - αν με παθητική μεταφορά (διάχυση), ποια - ες με ενεργητική μεταφορά και γιατί;
2. Αν η παροχή οξυγόνου στο κύτταρο περιοριστεί, ποιας ή ποιων ουσιών θα επιβραδυνθεί αντίστοιχα η μεταφορά και γιατί;
3. Να ονομάσετε μια κυτταρική λειτουργία στην οποία σημαντικό ρόλο παίζει η παθητική μεταφορά και μια κυτταρική λειτουργία στην οποία σημαντικό ρόλο παίζει η ενεργητική μεταφορά.

4. Να περιγράψετε τον τρόπο με τον οποίο εισάγονται και εξάγονται από τα κύτταρα ουσίες μεγάλου μοριακού βάρους και σωματίδια τροφής.

9. Ποιες θα ήταν οι συνέπειες για τη ζωή ενός ζωικού κυττάρου, αν, με κάποιο τρόπο, αφαιρούσαμε από την κυτταρική μεμβράνη του τις απλές και τις σύνθετες πρωτεΐνες;

10. Σχολιάστε το ρόλο των μεμβρανών στα μιτοχόνδρια, στο ενδοπλασματικό δίκτυο και στον πυρήνα.

11. Σήμερα γνωρίζουμε ότι υπάρχει ένα σύστημα μεμβρανών το οποίο συνδέει τον πυρήνα με την πλασματική μεμβράνη. Περιγράψτε τα κυριότερα από τα οργανίδια ή τους σχηματισμούς που συμμετέχουν στο σύστημα αυτό, με αναφορά στην εσωτερική λειτουργική σχέση τους.

12. Ο πίνακας που δίνεται στη συνέχεια αναφέρεται σε ένα ηπατικό και ένα φωτοσυνθετικό φυτικό κύτταρο, καθώς και σε δομές που θα μπορούσαν να υπάρχουν σ' αυτά:

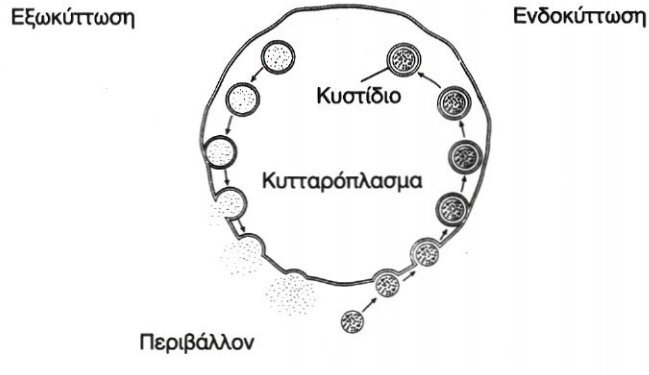
Δομή	**Κύτταρα**	
	Ηπατικό	**Φωτοσυνθετικό**
Πυρηνικός φάκελος		
Κυτταρικό τοίχωμα		
Αμυλόκοκκοι		
Χλωροπλάστες		
Σύμπλεγμα Golgi		
Ριβοσώματα		
Μιτοχόνδρια		

Αν η δομή υπάρχει σε καθένα από τα τρία είδη κυττάρων, βάλτε ένα (+) στο αντίστοιχο τετράγωνο και, αν δεν υπάρχει, βάλτε ένα (–).

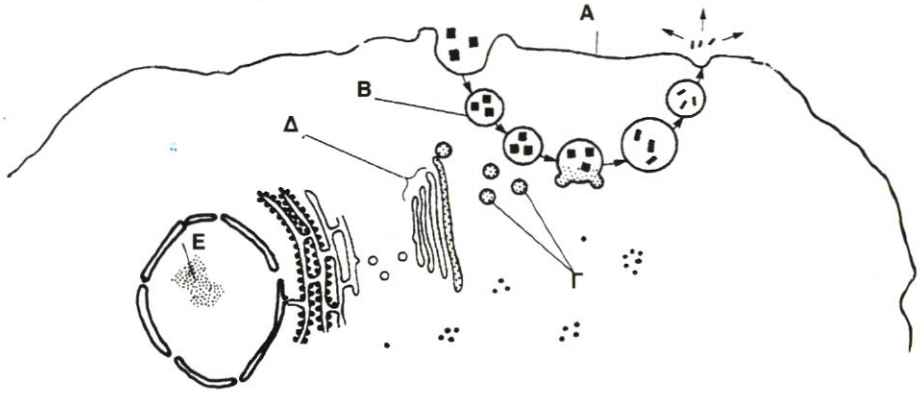
13. Ονομάστε και περιγράψτε το οργανίδιο με το οποίο είναι συνδεδεμένη η κυτταρική πέψη. Ποια είναι, συνοπτικά, η πορεία της λειτουργίας αυτής;

14. Να αναφέρετε και να περιγράψετε μορφολογικά δύο κυτταρικά οργανίδια που σχετίζονται με τη μετατροπή της ενέργειας σε μορφή αξιοποιήσιμη από το κύτταρο. Ποιος είναι ο ρόλος καθενός από αυτά στη ζωή του κυττάρου;

15. Περιγράψτε τις διαδικασίες που απεικονίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί:



16. Στο διάγραμμα παρουσιάζονται οι διαδοχικές φάσεις μιας συγκεκριμένης κυτταρικής διαδικασίας:



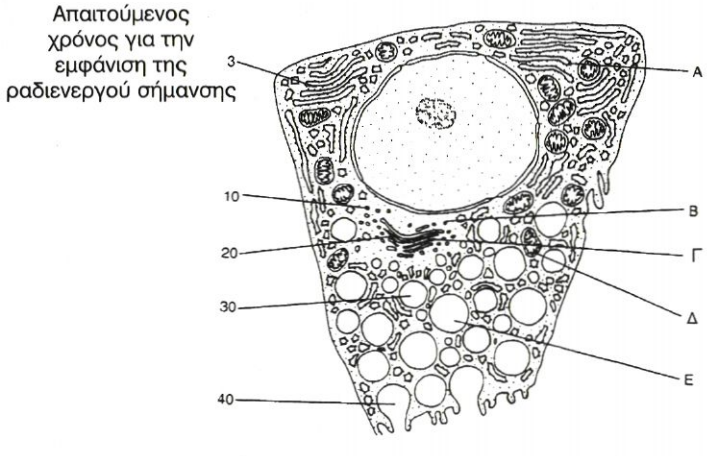
α. – Ονομάστε τις δομές που σημειώνονται με τα γράμματα **Α**, **Β**, **Γ**, **Δ**, **Ε**.
– Σημειώστε με το γράμμα **Ζ** τη δομή όπου παράγεται το πρωτεϊνικό περιεχόμενο του **Δ**.
– Ποιος είναι ο ρόλος του **Ε** στη σύνθεση αυτής της πρωτεΐνης;
– Ποια είναι η λειτουργία που το **Δ** μπορεί να κάνει στα κύτταρα ενός οργανισμού;

β. – Ονομάστε τη διαδικασία που περιγράφεται στο διάγραμμα, με την οποία μεγαλομοριακές ενώσεις εισέρχονται στο κύτταρο.
– Αυτή η διαδικασία είναι συνήθης σε ορισμένα λευκά αιμοσφαίρια. Να υποθέσετε ένα λόγο για τον οποίο αυτή η κυτταρική λειτουργία είναι σημαντική για τον οργανισμό.
– Ονομάστε μια ομάδα οργανισμών οι οποίοι τρέφονται χρησιμοποιώντας την παραπάνω διαδικασία.

17. Ποιες είναι οι διαφορές, δομικές και λειτουργικές, ανάμεσα στα μέρη των ακόλουθων ζευγαριών κυτταρικών δομών:

α. πλασματική μεμβράνη - πυρηνική μεμβράνη,
β. μιτοχόνδριο - χλωροπλάστης,
γ. λυσοσώματα - υπεροξειδιοσώματα.

18. Από το εσωτερικό περίβλημα στομάχου θηλαστικού απομονώθηκαν κύτταρα που εκκρίνουν το ένζυμο πεψινογόνο. Τα κύτταρα αυτά διατηρήθηκαν σε κατάλληλο θρεπτικό υλικό, που περιείχε αμινοξέα σημασμένα με ραδιενεργά ισότοπα. Σε κανονικά διαστήματα λαμβάνονταν από την καλλιέργεια κύτταρα και γινόταν παρατήρησή τους στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.
Στη συνέχεια βλέπετε το διάγραμμα ενός πεπτικού κυττάρου με ό,τι μπορεί να παρατηρηθεί στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο. Στην αριστερή πλευρά του σχήματος αναγράφεται ο χρόνος που χρειάστηκε, για να εμφανιστεί η σήμανση στα διάφορα κυτταρικά οργανίδια:



α. Ονομάστε τα οργανίδια **Α** έως και **Δ**.
β. Περιγράψτε συνοπτικά την ακολουθία των γεγονότων που έχουν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση της σήμανσης, σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα, στα οργανίδια **Α** έως **Γ**.
γ. Περιγράψτε συνοπτικά το ρόλο του πυρήνα στη σύνθεση του πεψινογόνου.
δ. Με ποιο τρόπο πιστεύετε ότι θα οδηγηθεί έξω από το κύτταρο το υλικό που περιέχεται στα οργανίδια **Ε**;
ε. Εξηγήστε γιατί είναι απαραίτητος ένας σχετικά μεγάλος αριθμός οργανιδίων **Δ** στα εκκριτικά κύτταρα.

19. Στην κορυφή του ανθρώπινου σπερματοζωαρίου υπάρχει μια μικρή διόγκωση, η οποία περιέχει ένζυμα που βοηθούν το σπερματοζωάριο να εισέλθει στο ωάριο. Κοντά στη μεμβράνη, προς το εσωτερικό του σπερματοζωαρίου, υπάρχουν πολλά κυστίδια. Περιγράψτε τον τρόπο με τον οποίο υποθέτετε ότι ελευθερώνονται τα ένζυμα από την κορυφή του σπερματοζωαρίου.

ΑΣ ΕΡΕΥΝΗΣΟΥΜΕ...

1. Αξιοποιώντας όσα γνωρίζετε και όσα μπορείτε να βρείτε ανατρέχοντας σε άλλες πηγές, προσπαθήστε, με επιστημονικά στοιχεία και παραδείγματα, να αιτιολογήσετε το γεγονός ότι η κυτταρική επιφάνεια έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για ορισμένα θέματα που αφορούν την υγεία.

2. Υπάρχει μια κληρονομική ασθένεια (glycogen cardiomyopathy). Νεαρά σε ηλικία άτομα που πάσχουν από αυτήν εμφανίζουν μυϊκή αδυναμία, η οποία επηρεάζει την καρδιά, όπως και άλλους μυς. Δείγματα προσβεβλημένων μυϊκών κυττάρων, τα οποία εξετάστηκαν, εμφανίζονται να περιέχουν πολύ μεγάλο αριθμό λυσοσωμάτων, διογκωμένα με γλυκογόνο. Προσπαθήστε, με τη βοήθεια σχετικής βιβλιογραφίας ή ειδικών επιστημόνων, να καταγράψετε τις διαφοροποιήσεις που συμβαίνουν σε κυτταρικούς μηχανισμούς, οι οποίες έχουν ως συνέπεια τα συγκεκριμένα προβλήματα.

3. Ένα είδος αμοιβάδας, η Pelomyxa pallustris, είναι ένας μονοκύτταρος ευκαρυωτικός οργανισμός που δε διαθέτει μιτοχόνδρια. Περιέχει όμως συμβιωτικά βακτήρια, τα οποία μπορούν να ζουν σε περιβάλλον με οξυγόνο και να το χρησιμοποιούν. Μπορεί αυτή η παρατήρηση να ενισχύσει ή να αποδυναμώσει τη θεωρία που υποστηρίζει την ενδοσυμβιωτική προέλευση των ευκαρυωτικών κυττάρων; Τεκμηριώστε την απάντησή σας με επιστημονικά στοιχεία.

4. Προσθέτουμε μια σταγόνα διαλύματος 5% NaCl πάνω σε φύλλα του υδρόβιου φυτού Elodea. Στη συνέχεια, αν παρατηρήσουμε τα φύλλα στο μικροσκόπιο, θα διαπιστώσουμε ότι υπάρχουν άχρωμες περιοχές στην περιφέρεια κάθε κυττάρου, που οφείλονται στο ότι οι κυτταρικές μεμβράνες συρρικνώνονται και αποκολλώνται από τα κυτταρικά τοιχώματα. Αξιοποιώντας τις γνώσεις σας από τη Χημεία και τη Βιολογία, προσπαθήστε να εξηγήσετε τι συνέβη στα κύτταρα αυτά.

Κεφάλαιο 5

Καταιγίδα με κεραυνούς

ΜΕΤΑΒΟΛΙΣΜΟΣ

3.1 Ενέργεια και οργανισμοί

3.2 Ένζυμα - βιολογικοί καταλύτες

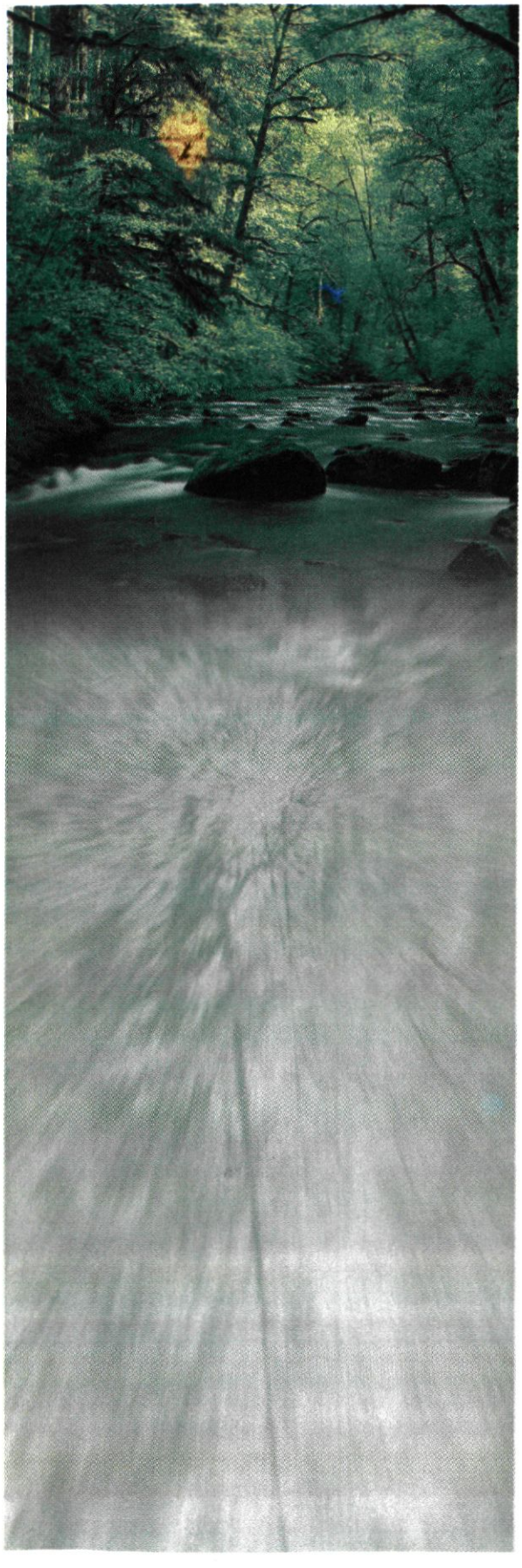
3.3 Φωτοσύνθεση

3.4 Κυτταρική αναπνοή

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος της μελέτης αυτού του κεφαλαίου θα μπορείτε:

- Να ορίζετε την έννοια του μεταβολισμού, να τον διακρίνετε σε είδη και να τον συσχετίζετε με τις κυτταρικές δραστηριότητες.
- Να ερμηνεύετε τον τρόπο με τον οποίο αξιοποιείται η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά τις εξώθερμες αντιδράσεις μέσα στο ζωντανό κύτταρο, για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών.
- Να αναγνωρίζετε το ATP ως το «ενεργειακό νόμισμα» του κυττάρου, δηλαδή ως τη «γέφυρα» ανάμεσα στις εξώθερμες και τις ενδόθερμες αντιδράσεις.
- Να αιτιολογείτε τον τρόπο με τον οποίο τα ένζυμα συμβάλλουν στη διεξαγωγή των βιολογικών αντιδράσεων.
- Να περιγράφετε τις διαδικασίες της φωτοσύνθεσης και της κυτταρικής αναπνοής και να αιτιολογείτε τη σχέση που υπάρχει μεταξύ τους.
- Να αιτιολογείτε τη σημασία που η φωτοσύνθεση και η κυτταρική αναπνοή έχουν για τη ζωή στον πλανήτη μας.



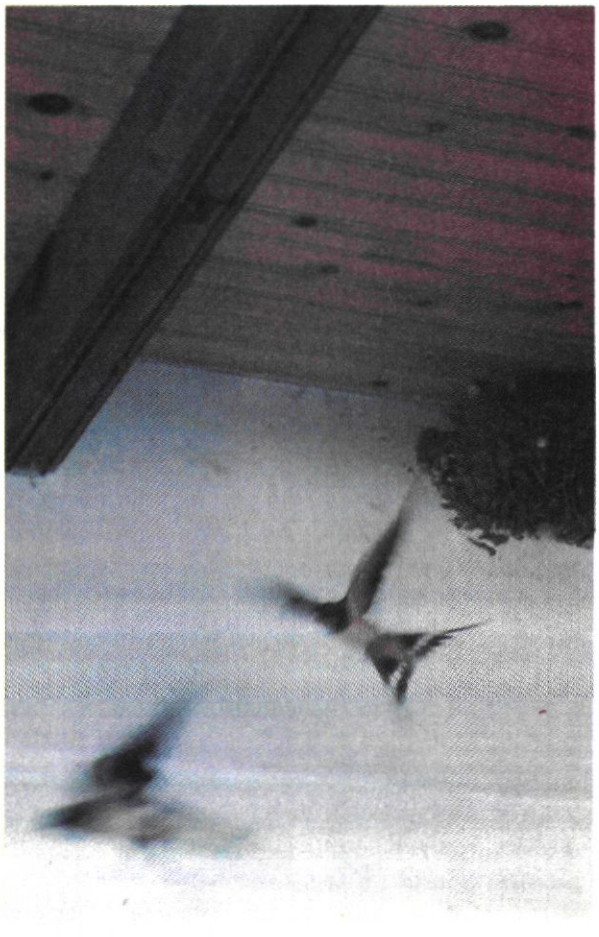
Ενέργεια υπάρχει στο περιβάλλον μας και η παρουσία της γίνεται φανερή με διάφορους τρόπους. Οι κεραυνοί μιας καταιγίδας, τα ηφαίστεια, οι σεισμοί αποτελούν δυναμικές εκφράσεις της. Ο ήχος που βγαίνει από τις χορδές μιας κιθάρας, η αχτίδα του ήλιου και το άνοιγμα των πετάλων ενός λουλουδιού εμπεριέχουν την αξιοποίηση ενέργειας. Όλες οι διαδικασίες της ζωής απαιτούν ενέργεια: από το διπλασιασμό των χρωμοσωμάτων έως το διαχωρισμό και το μοίρασμά τους στα δύο θυγατρικά κύτταρα, και από τη διαφοροποίηση των κυττάρων ενός εμβρύου έως το σχηματισμό διαφορετικών ιστών. Ενέργεια επίσης απαιτεί και μια ατέλειωτη σειρά άλλων πολύπλοκων διεργασιών που γίνονται στους οργανισμούς. Αφού λοιπόν η ενέργεια είναι τόσο βασική για τη ζωή των οργανισμών, είναι σημαντικό για μας να καταλάβουμε για ποιο λόγο είναι αυτή απαραίτητη και με ποιο τρόπο οι οργανισμοί τη χρησιμοποιούν.

Ο όρος «ενέργεια» πρωτοχρησιμοποιήθηκε πριν από δύο περίπου αιώνες, με τη βιομηχανική επανάσταση, και έγινε οικείος στον άνθρωπο, καθώς η τεχνολογία εξελισσόταν. Η σχέση βέβαια του ανθρώπου με την ενέργεια είχε να κάνει κυρίως με τους τρόπους παραγωγής και αξιοποίησής της για την παραγωγή έργου χρήσιμου για τις ανάγκες της καθημερινής ζωής.

Στην περίοδο όμως αυτή, που οι επιστήμονες που ασχολούνται με τη Φυσική και οι ειδικοί τεχνικοί προσπαθούσαν να εξασφαλίσουν φθηνή και εύχρηστη ενέργεια για τις ανάγκες της καθημερινής ζωής, οι βιολόγοι ερευνητές διαπίστωναν ότι η κατανόηση της σχέσης της ενέργειας με τους ίδιους τους οργανισμούς δε θα βελτίωνε άμεσα μόνο την ποιότητα ζωής του ανθρώπου, αλλά θα έδινε και απαντήσεις σε ερωτήματα σχετικά με την ύπαρξη ή τη διατήρηση της ίδιας της ζωής. Έτσι, πολύ γρήγορα, αναπτύχθηκε ένας κλάδος της Βιολογίας, η **Βιοενεργητική**. Η Βιοενεργητική έχει ως αντικείμενό της τη μελέτη του τρόπου με τον οποίο οι οργανισμοί χρησιμοποιούν την ενέργεια, για να υλοποιούν τις δραστηριότητες της ζωής.

3.1 ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

Με βάση όσα γνωρίζουμε έως τώρα θα συμφωνήσουμε ότι το χελιδόνι ξοδεύει ενέργεια, για να παραμείνει ζωντανό. Όχι μόνο για να πετά από κλαδί σε κλαδί, αλλά και για να μεγαλώνει τα μικρά του ή για να μεταναστεύει σε μακρινές περιοχές. Αυτό που ίσως είναι λιγότερο γνωστό, ή λιγότερο προφανές, είναι η διαδικασία με την οποία το χελιδόνι εξασφαλίζει και στη συνέχεια χρησιμοποιεί αυτή την ενέργεια.
Το χελιδόνι λοιπόν εξασφαλίζει ενέργεια διασπώντας θρεπτικές ουσίες που περιέχονται στην τροφή του, η οποία αποτελείται από διάφορα έντομα. Το ίδιο κάνουν όλοι οι οργανισμοί, εκτός από αυτούς που έχουν την ικανότητα να φωτοσυνθέτουν. Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί δεσμεύουν ηλιακή ενέργεια και με απλές ανόργανες ενώσεις, που βρίσκουν στο περιβάλλον τους, συνθέτουν τις θρεπτικές ουσίες που τους είναι απαραίτητες.



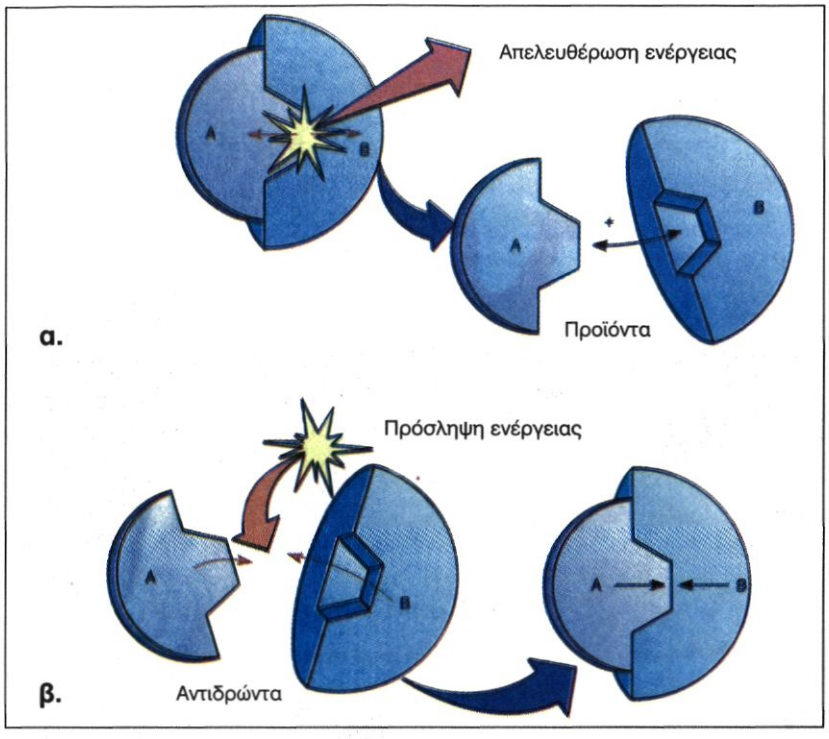
Χελιδόνια που ταΐζουν τα μικρά τους.

Την **ενέργεια** και τα **υλικά** που οι οργανισμοί εξασφαλίζουν από το περιβάλλον τους συνήθως δεν μπορούν να τα αξιοποιήσουν άμεσα. Η αξιοποίησή τους προϋποθέτει τη μετατροπή τους σε ενώσεις, που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια, είτε για να οξειδωθούν και να παραχθεί ενέργεια είτε ως «πρώτη ύλη» για τη σύνθεση μορίων που είναι απαραίτητα ως δομικά ή λειτουργικά συστατικά των οργανισμών. Το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που εξυπηρετούν αυτές τις διαδικασίες συνιστούν το **μεταβολισμό**. Με το μεταβολισμό τους τα κύτταρα, και κατ' επέκταση οι οργανισμοί, διατηρούν σταθερές τις συνθήκες λειτουργίας τους παρά τις μεταβολές που μπορεί να συμβαίνουν στο περιβάλλον. Οι μεταβολές αυτές μπορεί να αφορούν τη θερμοκρασία, τη συγκέντρωση εξωκυτταρικών ουσιών κ.ά.

Ο μεταβολισμός έχει δύο σκέλη, τον καταβολισμό και τον αναβολισμό. Ο **καταβολισμός** περιλαμβάνει τις αντιδράσεις διάσπασης πολύπλοκων ουσιών σε απλούστερες, με παράλληλη συνήθως απόδοση ενέργειας. Ο **αναβολισμός** περιλαμβάνει αντιδράσεις σύνθεσης πολύπλοκων χημικών ουσιών από πιο απλές. Για την πραγματοποίηση των αντιδράσεων σύνθεσης καταναλώνεται συνήθως ενέργεια. Οι καταβολικές δηλαδή αντιδράσεις αποδίδουν ενέργεια (εξώθερμες), ενώ οι αναβολικές απορροφούν ενέργεια (ενδόθερμες). Η ενέργεια που παράγεται στα κύτταρα των οργανισμών αποθηκεύεται σε χημικούς δεσμούς βιομορίων. Είναι δεσμοί που, για να σχηματιστούν, απαιτούν ενέργεια, την οποία αποδίδουν, όταν σπάζουν.

Μεταφορά ενέργειας στα κύτταρα

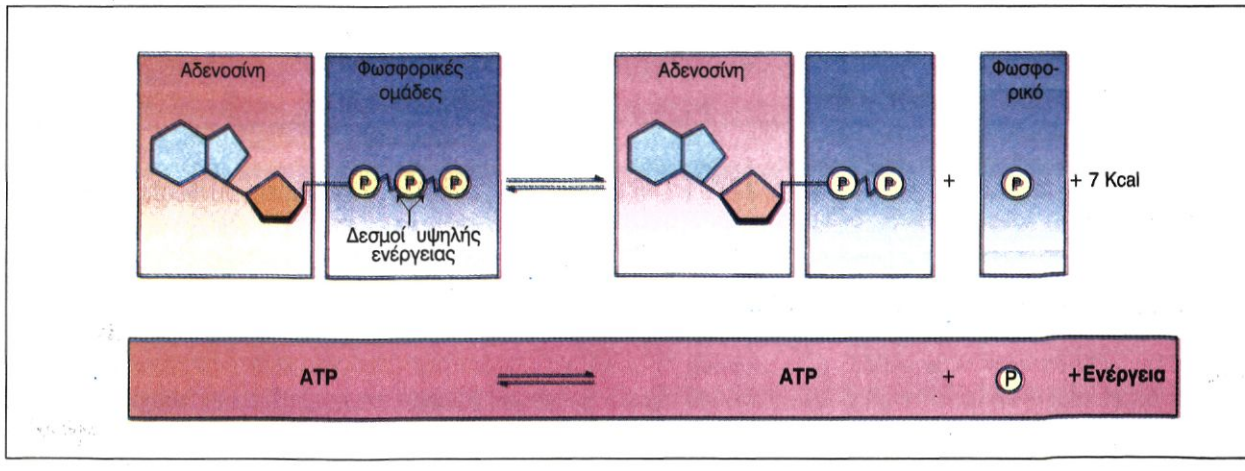
Η μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τον τόπο παραγωγής της στον τόπο κατανάλωσης γίνεται με ηλεκτροφόρα καλώδια. Μέσα στα κύτταρα η μεταφορά ενέργειας από το σημείο όπου αυτή παράγεται (αντιδράσεις διάσπασης - εξώθερμες) στο σημείο όπου καταναλώνεται (αντιδράσεις σύνθεσης - ενδόθερμες) επιτυγχάνεται με τη σύζευξη εξώθερμων με ενδόθερμες αντιδράσεις. Όταν γίνεται μια αντίδραση διάσπασης, ένα μέρος της ενέργειας που αποδίδεται μετατρέπεται σε θερμότητα και απελευθερώνεται στο περιβάλλον. Το υπόλοιπο όμως χρησιμοποιείται για να προχωρήσει μια αντίδραση σύνθεσης που απαιτεί ενέργεια. Η ενέργεια που προσφέρεται στην τελευταία αυτή αντίδραση αποθηκεύεται τελικά στους χημικούς δεσμούς των προϊόντων της.



Τύποι χημικών αντιδράσεων:
(α) Εξώθερμη αντίδραση,
(β) Ενδόθερμη αντίδραση.

Σε όλα τα κύτταρα για τη μεταφορά της χημικής ενέργειας από τις εξώθερμες αντιδράσεις στις ενδόθερμες χρησιμοποιείται κυρίως το μόριο **τριφωσφορική αδενοσίνη** (**ATP**). Το ATP είναι ένα τριφωσφορικό νουκλεοτίδιο. Οι τρεις φωσφορικές ομάδες (P) βρίσκονται σε σειρά και οι χημικοί δεσμοί που ενώνουν τις δύο τελευταίες περικλείουν μεγάλο ποσό ενέργειας γι' αυτό και χαρακτηρίζονται ως **δεσμοί υψηλής ενέργειας**. Θα μπορούσαμε να παραλληλίσουμε τις δύο τελευταίες φωσφορικές ομάδες με βαγόνια μιας ατμομηχανής, που μπορούν να συνδεθούν ή να αποσυνδεθούν. Μάλιστα, στην περίπτωσή μας, αυτό μπορεί να συμβεί εύκολα, γιατί οι δεσμοί υψηλής ενέργειας είναι ασταθείς και εύκολα διασπώνται με υδρόλυση.

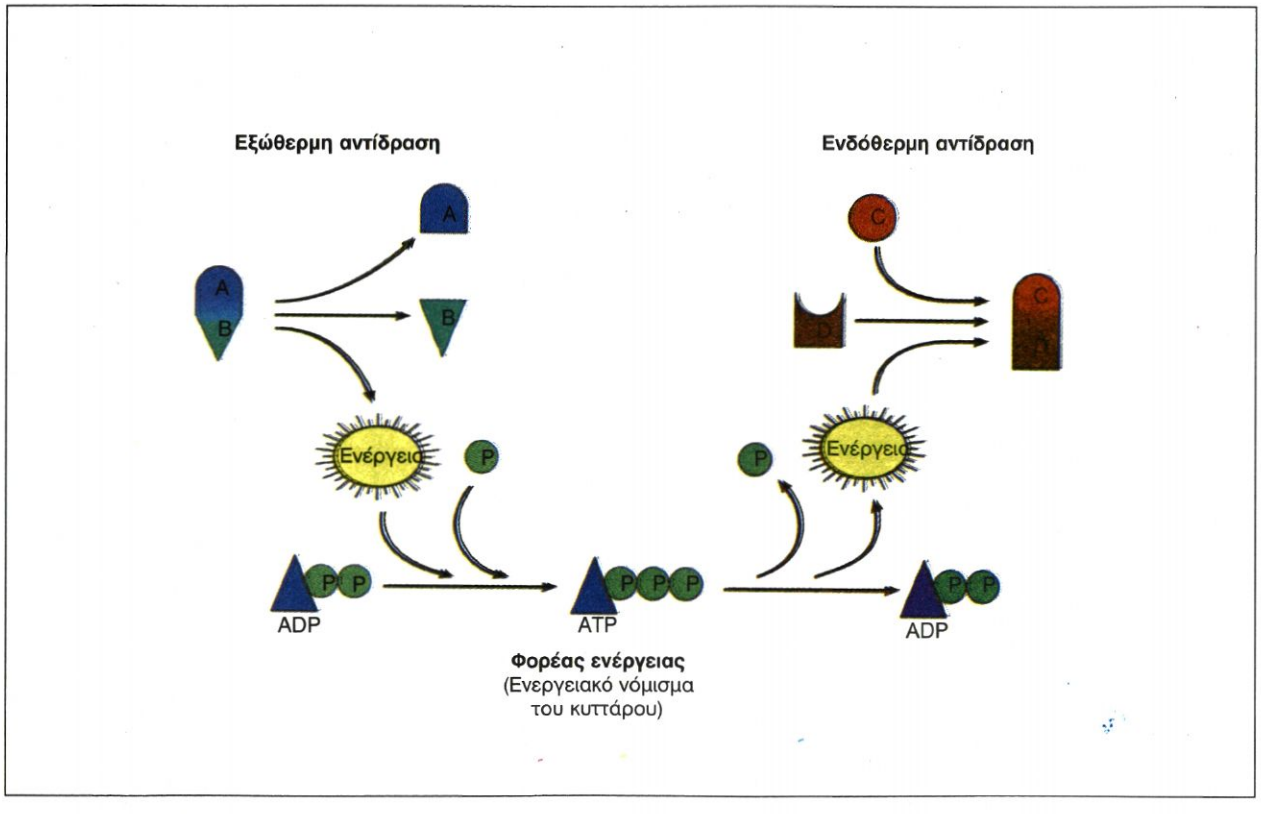
Το ATP παραλαμβάνει και μεταφέρει ενέργεια σε οποιοδήποτε μέρος του κυττάρου, και την αποδίδει γρήγορα με μία και μόνο χημική αντίδραση. Σ' αυτό βοηθά η δομή του, η δυνατότητα σχηματισμού του από **ADP** (**διφωσφορική αδενοσίνη**), ένα φωσφορικό οξύ και ενέργεια, και το γεγονός ότι η αντίδραση αυτή είναι αμφίδρομη. Επειδή το ATP μεσολαβεί στις συναλλαγές μεταξύ των κυτταρικών διεργασιών που αποδίδουν και αυτών που καταναλώνουν ενέργεια, χαρακτηρίζεται ως **ενεργειακό νόμισμα**.



Διάσπαση και επανασύνθεση του ATP.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι το ATP, ως ο κύριος, άμεσος δότης ενέργειας για τα κύτταρα (στοιχειώδης μονάδα ενέργειας), θα πρέπει συνεχώς να αναγεννάται από ADP και φωσφορικό οξύ. Τα κύτταρα δηλαδή χρησιμοποιούν το ATP σαν ένα είδος επαναφορτιζόμενης μπαταρίας. Όταν η ενέργεια των «κυτταρικών μπαταριών – ATP» εξαντληθεί, οι «αποφορτισμένες μπαταρίες - ADP» επαναφορτίζονται. Γενικά στη φύση αυτό γίνεται με δύο τρόπους: είτε με δέσμευση φωτεινής ενέργειας και μετατροπή της σε χημική κατά τη φωτοσύνθεση είτε με ενέργεια που προέρχεται από αντιδράσεις διάσπασης οργανικών ουσιών, όπως η οξείδωση της γλυκόζης. Τις δύο αυτές διαδικασίες θα τις μελετήσουμε στη συνέχεια.

Θα πρέπει να τονιστεί ότι το κύτταρο δεν αποθηκεύει μεγάλο αριθμό μορίων ATP. Τα χρησιμοποιεί δηλαδή σχεδόν αμέσως, μόλις αυτά συντεθούν. Σε τυπικά κύτταρα ένα μόριο ATP χρησιμοποιείται μέσα σ' ένα λεπτό από τη στιγμή του σχηματισμού του. Ένας άνθρωπος σε ανάπαυση καταναλώνει, συνολικά, περίπου 40kg ATP σε 24 ώρες. Ωστόσο το ποσό του ATP που βρίσκεται στο σώμα του σε κάθε δεδομένη στιγμή δεν υπερβαίνει το 1g. Κάθε δευτερόλεπτο παράγονται από κάθε κύτταρο 10 εκατομμύρια μόρια ATP και, αντίστοιχα, υδρολύονται άλλα τόσα.



Μεταφορά ενέργειας από μια εξώθερμη αντίδραση σε μια ενδόθερμη μέσω του ATP.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το σύνολο των χημικών αντιδράσεων που γίνονται στα κύτταρα των οργανισμών συνιστούν το μεταβολισμό, που διακρίνεται στον καταβολισμό και στον αναβολισμό.

Η μεταφορά ενέργειας μέσα στα κύτταρα γίνεται με τη σύζευξη των εξώθερμων με τις ενδόθερμες αντιδράσεις. Σε όλα τα κύτταρα για τη μεταφορά της χημικής ενέργειας από τις εξώθερμες στις ενδόθερμες αντιδράσεις χρησιμοποιείται κυρίως το μόριο ATP. Η ενέργεια που δεσμεύεται σ' αυτό το μόριο αποδίδεται για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών των διάφορων κυτταρικών λειτουργιών. Για το σχηματισμό του ATP χρησιμοποιείται ενέργεια που προέρχεται από την κυτταρική αναπνοή και τη φωτοσύνθεση.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Σημειώστε τρεις διαφορές ανάμεσα στον αναβολισμό και τον καταβολισμό.

2. Παρατηρήστε το σχήμα που ακολουθεί και σημειώστε ποιες αντιδράσεις είναι ενδόθερμες και ποιες εξώθερμες:

   α. $A+B \xrightarrow{\text{Ενέργεια}} Γ+Δ$ β. $A+B \rightarrow Γ+Δ+\text{Ενέργεια}$ γ. $A \rightarrow B+Γ+\text{Ενέργεια}$

3. Γιατί το ATP συγκαταλέγεται στα μόρια υψηλής ενέργειας; Εξηγήστε το βιολογικό του ρόλο.

4. Το ATP:
   α. Παράγεται κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης και της κυτταρικής αναπνοής.
   β. Διαρκώς διασπάται και αναγεννάται μέσα στα κύτταρα.
   γ. Χρησιμοποιείται από τα κύτταρα, όταν αυτά χρειάζεται να παράγουν έργο.
   δ. Όλα τα προηγούμενα είναι σωστά.
   Σημειώστε τη σωστή απάντηση.

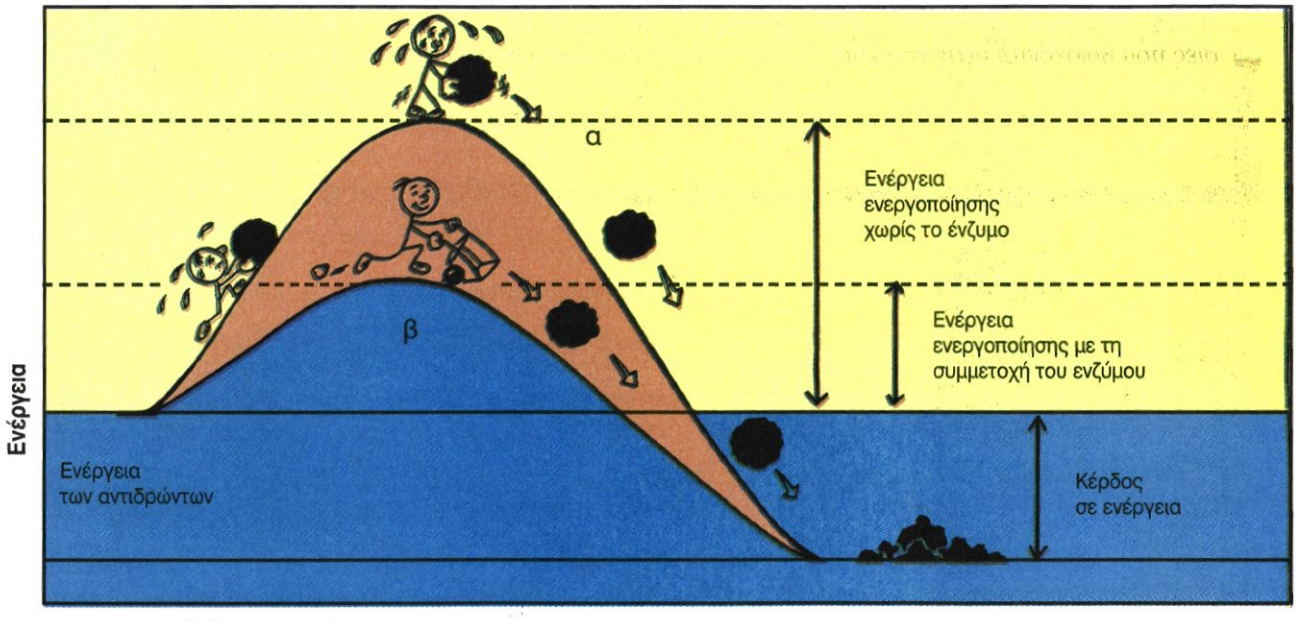
5. Συμφωνείτε με την παρομοίωση του συστήματος ATP - ADP σαν μιας «μπαταρίας με δυνατότητα αποφόρτισης και επαναφόρτισης»; Πώς θα αιτιολογούσατε την άποψή σας;

6. Για ποιους λόγους πιστεύετε ότι το ATP αποτελεί μια εξαιρετική πηγή βιολογικής ενέργειας;

3.2 ΕΝΖΥΜΑ - ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΚΑΤΑΛΥΤΕΣ

Μηχανισμός δράσης των ενζύμων

Για να πραγματοποιηθούν πολλές από τις χημικές αντιδράσεις, ακόμη και αυτές που τελικά αποδίδουν ενέργεια (εξώθερμες), πρέπει αρχικά να προσφερθεί ενέργεια στα αντιδρώντα μόρια. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται **ενέργεια ενεργοποίησης**. Στο περιβάλλον η ενέργεια ενεργοποίησης μπορεί να εξασφαλιστεί με προσφορά θερμότητας. Σε ό,τι αφορά τις αντιδράσεις του μεταβολισμού, αν επιδιώξουμε την πραγματοποίησή τους στο εργαστήριο, έξω από το κύτταρο, προσφέροντας θερμότητα, θα διαπιστώσουμε ότι το ποσό που απαιτείται θα ήταν απαγορευτικό για την επιβίωση του κυττάρου. Επιπλέον ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση των μεταβολικών αντιδράσεων είναι πολύ μεγάλος. Αυτό θα δημιουργούσε επίσης πρόβλημα στους οργανισμούς, των οποίων οι ανάγκες είναι σχεδόν πάντα άμεσες και φυσικά απαιτούν μεγάλη ταχύτητα αντιδράσεων. Τα κύτταρα, για να αντιμετωπίσουν αυτό το πρόβλημα, διαθέτουν μηχανισμό μείωσης της ενέργειας ενεργοποίησης των μεταβολικών τους αντιδράσεων. Ο μηχανισμός αυτός στηρίζεται στη δράση των ενζύμων, που, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι πρωτεΐνες.

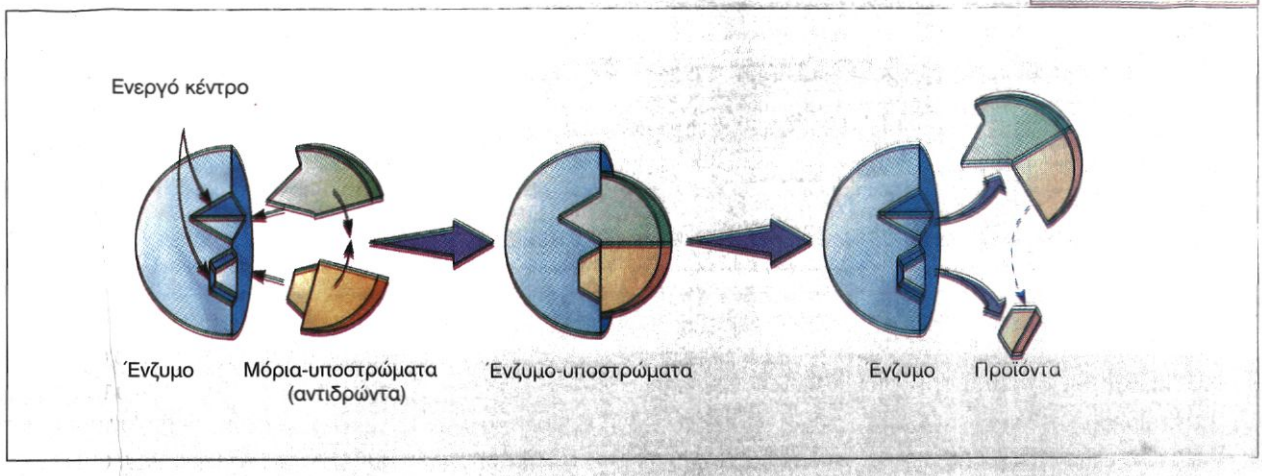


Τα ένζυμα επιταχύνουν τις αντιδράσεις ελαττώνοντας την ενέργεια ενεργοποίησης. Σύγκριση της ενέργειας ενεργοποίησης αντίδρασης: (α) απουσία ενζύμου και (β) παρουσία ενζύμου.

Τα **ένζυμα**, γενικά, καταλύουν αντιδράσεις που θα μπορούσαν να γίνουν και χωρίς την παρουσία τους. Με την παρουσία όμως των ενζύμων η ταχύτητα των αντιδράσεων αυξάνεται ακόμη και μέχρι 100 εκατομμύρια φορές. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι αντιδράσεις που πραγματοποιούνται, με την παρουσία ενζύμων, μέσα σ' ένα λεπτό, με την παρουσία ενζύμων, θα χρειάζονταν 32 μήνες για να πραγματοποιηθούν χωρίς αυτά. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο προσανατολισμό των αντιδρώντων μορίων ή **μορίων - υποστρωμάτων**.

Ο προσανατολισμός των μορίων - υποστρωμάτων γίνεται στο **ενεργό κέντρο του ενζύμου**, που αποτελεί μια μικρή περιοχή του. Η σύνδεση των αντιδρώντων μορίων με αυτό μοιάζει με το «ταίριασμα του κλειδιού στην κλειδαριά».

Η σύνδεση των υποστρωμάτων με το ένζυμο έχει ως αποτέλεσμα να γίνονται ασταθείς οι δεσμοί των αντιδρώντων μορίων. «Σπάνε» πιο εύκολα, κάτι που αποτελεί προϋπόθεση για το σχηματισμό των προϊόντων. Σε ορισμένες περιπτώσεις το ενεργό κέντρο των ενζύμων αποκτά σχήμα συμπληρωματικό του σχήματος του υποστρώματος μόνο μετά την πρόσδεση του υποστρώματος στο ενεργό κέντρο.



Τρόπος δράσης των ενζύμων.

*Ο όρος **ένζυμο** (enzyme) καθιερώθηκε από το **Φ. Κίνε** (F. Kühne) το 1878, για να δηλώσει τις δραστικές ουσίες που βρίσκονται μέσα στα κύτταρα των ζυμών (μονοκύτταροι μύκητες). Προήλθε από τις ελληνικές λέξεις **εν** και **ζύμη**. Τυπικά, ένα ένζυμο αυξάνει την ταχύτητα μιας αντίδρασης από ένα εκατομμύριο (10^6) έως και ένα τρισεκατομμύριο (10^{12}) φορές. Κάτι αντίστοιχο θα ήταν η μείωση του χρόνου ζωής από 100 χρόνια σε ένα μόνο δευτερόλεπτο.*

Τα μόρια δυσκολεύονται.

Το ένζυμο «επεμβαίνει».

Ο ρόλος του ενζύμου τελείωσε.

Ιδιότητες των ενζύμων

Το γεγονός ότι τα ένζυμα είναι πρωτεϊνικά μόρια έχει ως αποτέλεσμα ορισμένες, τουλάχιστον, από τις ιδιότητές τους. Ας δούμε τις κυριότερες από αυτές:

- Η καταλυτική δράση των ενζύμων καθορίζεται από την τριτοταγή δομή του πρωτεϊνικού μορίου τους και χάνεται, όταν η δομή αυτή, για κάποιο λόγο, πάψει να υπάρχει.
- Δρουν πολύ γρήγορα. Για παράδειγμα, ένα μόριο καταλάσης μπορεί να καταλύσει, στη θερμοκρασία του κυττάρου, τη διάσπαση έξι εκατομμυρίων μορίων υπεροξειδίου του υδρογόνου μέσα σε ένα λεπτό ($2H_2O_2 \xrightarrow{\text{καταλάση}} 2H_2O+O_2$).
- Δε συμμετέχουν στην αντίδραση που καταλύουν, με την έννοια ότι παραμένουν αναλλοίωτα και μετά το τέλος της αντίδρασης μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν πολλές φορές, ώσπου να καταστραφούν.
- Εμφανίζουν υψηλό βαθμό εξειδίκευσης, που οφείλεται στη διάταξή τους στο χώρο και στη δυνατότητα σύνδεσης του ενεργού τους κέντρου με το υπόστρωμα. Αυτό σημαίνει ότι δρουν συνήθως σε ένα μόνο συγκεκριμένο υπόστρωμα. Ένα ένζυμο δηλαδή καταλύει συνήθως μία μόνο χημική αντίδραση ή, το πολύ, μια σειρά από πολύ συγγενικές αντιδράσεις. Η καταλάση, για παράδειγμα, καταλύει μόνο την αντίδραση διάσπασης του υπεροξειδίου του υδρογόνου. Αντίθετα η παγκρεατική λιπάση, ένζυμο που εκκρίνεται από το πάγκρεας, καταλύει τις αντιδράσεις διάσπασης μιας σειράς διαφορετικών λιπιδίων.
- Η δραστικότητα των ενζύμων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες. Σ' αυτούς ανήκουν η θερμοκρασία, το pH κ.ά.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Πώς μπορεί να εξηγηθεί το γεγονός ότι οι πρωτεάσες υδρολύουν τις πρωτεΐνες των τροφών που φθάνουν στο στομάχι και όχι τις πρωτεΐνες του τοιχώματος του στομαχιού;

Τα ένζυμα, ανάλογα με το αν δρουν μέσα στα κύτταρα του οργανισμού ή εκκρίνονται και δρουν έξω από αυτά, σε κοιλότητες όπως το στομάχι, διακρίνονται σε **ενδοκυτταρικά** και **εξωκυτταρικά**. Μέσα στο κύτταρο τα ένζυμα βρίσκονται είτε ελεύθερα είτε δεσμευμένα πάνω σε μεμβράνες. Αυτό προσδιορίζει και το χώρο όπου μπορεί να λαμβάνει χώρα η αντίδραση την οποία κάθε ένζυμο καταλύει. Τα ένζυμα παίρνουν συνήθως το όνομά τους είτε με προσθήκη της κατάληξης **-άση** στο όνομα του υποστρώματος στο οποίο δρουν είτε από τον τύπο της αντίδρασης που καταλύουν. Για παράδειγμα, οι λιπάσες καταλύουν αντιδράσεις διάσπασης λιπιδίων.

Η ΜΟΝΟΚΡΑΤΟΡΙΑ ΑΜΦΙΣΒΗΤΕΙΤΑΙ...

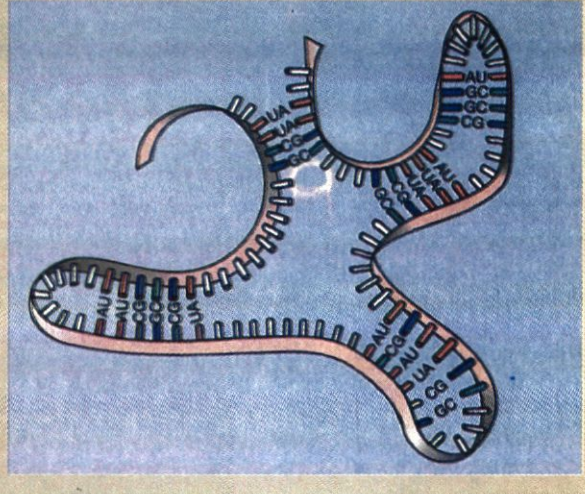
Μέχρι το 1978 δεχόμασταν ότι τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες με καταλυτικές ιδιότητες. Εκείνη τη χρονιά, για πρώτη φορά, ο Σ. Άλτμαν εντόπισε ένα «ένζυμο», που αποτελείται από νουκλεοτίδια.

Ακολούθησαν και άλλες παρόμοιες ανακαλύψεις μορίων RNA με ενζυμικές ιδιότητες, που ονομάστηκαν ριβόζυμα.

Μέχρι σήμερα έχουν εντοπιστεί περί τα 12 ριβόζυμα. Με την ανακάλυψη αυτή τείνει να καταρριφθεί ένα ακόμα δόγμα, ότι δηλαδή όλοι οι βιολογικοί καταλύτες είναι πρωτεΐνες.

Ακόμα οδηγούμαστε σε υποθέσεις ότι πιθανώς κάποια περίοδο στον πλανήτη μας το DNA να μην είχε τον κεντρικό ρόλο που έχει σήμερα για τη ζωή.

Ήταν ίσως η εποχή που, όπως υποστηρίζεται από διάφορους επιστήμονες, τις πληροφορίες της ζωής μετέφερε η αλυσίδα του RNA και όχι η διπλή έλικα του DNA.



Ριβόζυμο: RNA με ενζυμικές δραστηριότητες.

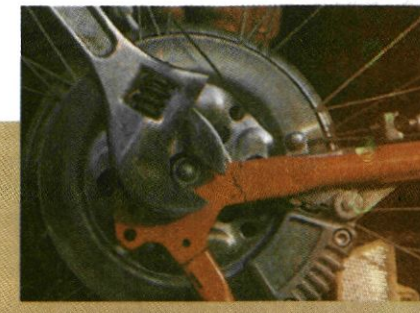
Παράγοντες που επηρεάζουν τη δράση των ενζύμων

Στην περίπτωση που θέλουμε να προσδιορίσουμε τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη δράση των ενζύμων, ή τον τρόπο με τον οποίο το επιτυγχάνουν, θα πρέπει, όπως και για τις ιδιότητες των ενζύμων, να ξεκινήσουμε από το γεγονός ότι είναι πρωτεϊνικά μόρια. Έχουν επομένως συγκεκριμένη τριτοταγή δομή (διάταξη στο χώρο), που είναι απαραίτητη για τη λειτουργικότητά τους.
Ας δούμε λοιπόν αναλυτικά τους παράγοντες που επηρεάζουν τη δράση των ενζύμων:

Θερμοκρασία: Όπως συμβαίνει στις περισσότερες χημικές αντιδράσεις, έτσι και σ' αυτές που καταλύονται από ένζυμα (ενζυμικές) η ταχύτητά τους μεταβάλλεται ανάλογα με τη μεταβολή της θερμοκρασίας. Για κάθε ένζυμο υπάρχει μια ορισμένη θερμοκρασία (άριστη), στην οποία η ταχύτητα της αντίδρασης γίνεται μέγιστη.
Τα περισσότερα ένζυμα δρουν άριστα σε θερμοκρασίες μεταξύ 36°- 38°C, που είναι και η θερμοκρασία του σώματος του ανθρώπου. Με την αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από το όριο αυτό, η ταχύτητα της αντίδρασης αρχίζει να ελαττώνεται καθώς μειώνεται η δραστικότητα των ενζύμων. Γύρω στους 50°C η μεταβολή στη δραστηριότητα των ενζύμων γίνεται "μόνιμη". Αυτό σημαίνει ότι δεν επανέρχεται με την ελάττωση της θερμοκρασίας. Αυτό οφείλεται στο ότι τα πρωτεϊνικά αυτά μόρια χάνουν την τριτοταγή δομή τους, χάρη στην οποία είναι δραστικά.

pH: Τα ένζυμα επηρεάζονται από μεταβολές του pH. Ισχυρά όξινο ή αλκαλικό περιβάλλον μπορεί να προκαλέσει τη μερική ή την ολική καταστροφή τους. Για κάθε ένζυμο υπάρχει μια ορισμένη τιμή του pH, στην οποία η ταχύτητα της αντίδρασης που καταλύει είναι η μέγιστη. Για τα περισσότερα ένζυμα η τιμή αυτή κυμαίνεται μεταξύ των τιμών pH 5 και pH 9. Τα περισσότερα ενδοκυτταρικά ένζυμα δρουν άριστα γύρω στο pH 7. Αντίθετα, ένζυμα όπως τα πεπτικά, που εκκρίνονται και δρουν σε κοιλότητες του οργανισμού, συμπεριφέρονται διαφορετικά. Η πεψίνη, για παράδειγμα, ένζυμο που δρα στο στομάχι, εμφανίζει άριστη δράση σε pH περίπου 2. Αντίθετα η θρυψίνη, ένζυμο που δρα στο λεπτό έντερο, εμφανίζει άριστη δράση δρα σε pH περίπου 8,5.

Συγκέντρωση υποστρώματος: Η αύξηση της συγκέντρωσης του υποστρώματος οδηγεί συνήθως σε αύξηση της ταχύτητας της αντίδρασης. Από ένα σημείο και πέρα όμως, περισσότερα μόρια υποστρώματος δεν οδηγούν σε μεγαλύτερη ταχύτητα αντίδρασης. Αυτό οφείλεται στην πλήρη κάλυψη από το υπόστρωμα του ενεργού κέντρου των διαθέσιμων μορίων του ενζύμου. Τα επιπλέον μόρια υποστρώματος πρέπει να περιμένουν «τη σειρά τους», ώσπου τα μόρια του ενζύμου να ολοκληρώσουν τις αντιδράσεις που έχουν ήδη αναλάβει και να είναι ελεύθερα να δεσμεύσουν άλλα μόρια - υποστρώματα.



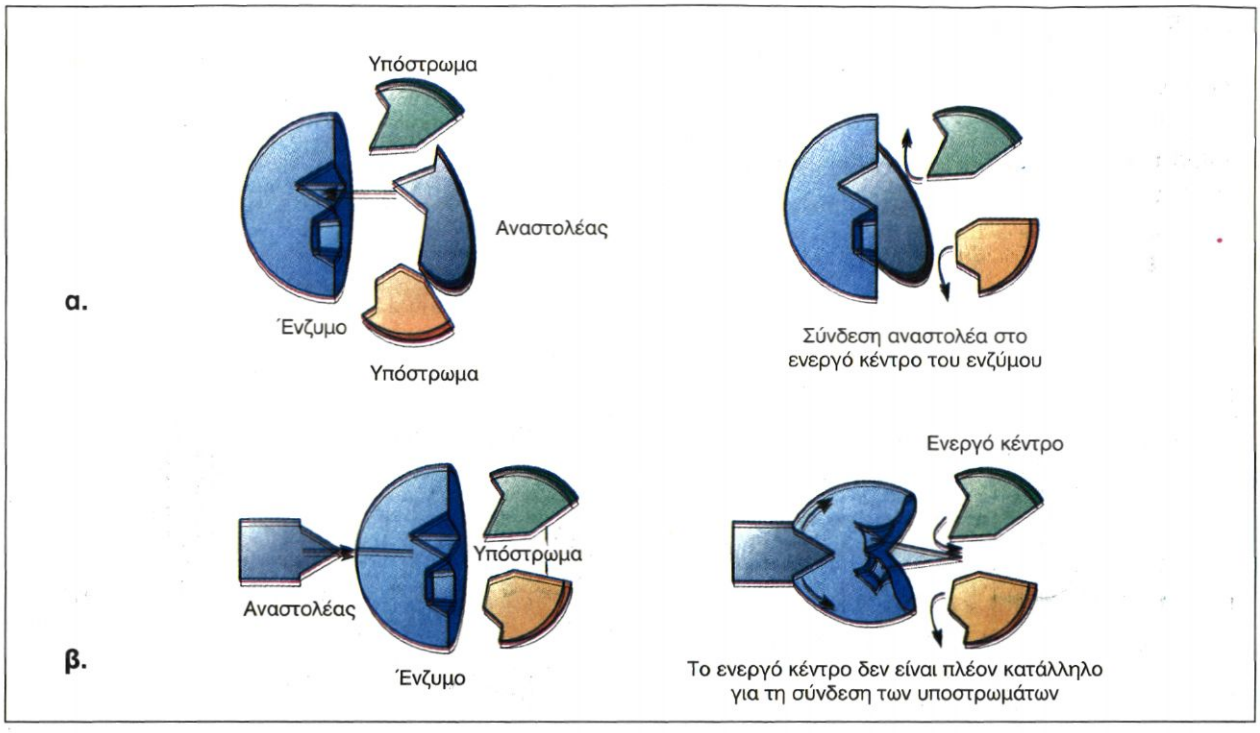
ΕΝΖΥΜΑ, ΤΑ «ΕΡΓΑΛΕΙΑ» ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

Θα μπορούσες να σκεφτείς τα ένζυμα σαν εργαλεία. Ένα εργαλείο σε βοηθά να κάνεις μια συγκεκριμένη εργασία πιο εύκολα και πιο γρήγορα απ' ό,τι με το χέρι. Όταν τελειώσεις την εργασία, το φυλάς, για να το χρησιμοποιήσεις, όταν το ξαναχρειαστείς. Βέβαια είναι φυσικό με τη συνεχή χρήση το εργαλείο να φθείρεται, και να χρειάζεται να αντικατασταθεί. Αυτό γίνεται και στην περίπτωση των ενζύμων.

Συγκέντρωση ενζύμου: Για δεδομένη συγκέντρωση υποστρώματος και για συγκεκριμένη τιμή του pH και της θερμοκρασίας, η ταχύτητα της αντίδρασης αυξάνεται με την αύξηση της ποσότητας του ενζύμου.

Αναστολείς της δράσης των ενζύμων

Υπάρχουν ουσίες που μπορούν να αναστείλουν τη δράση των ενζύμων και γι' αυτό ονομάζονται **αναστολείς**. Διακρίνονται σε μη αντιστρεπτούς και αντιστρεπτούς. Οι μη αντιστρεπτοί συνδέονται μόνιμα με το ένζυμο και δεν το αφήνουν να δράσει πλέον. Σ' αυτούς ανήκουν διάφορα αέρια (π.χ. εντομοκτόνα) και ιόντα βαρέων μετάλλων, όπως τα Hg^{2+}, Pb^{2+}, Ag^{+}. Οι αντιστρεπτοί αναστολείς εμποδίζουν, παροδικά μόνο, τη δράση των ενζύμων.



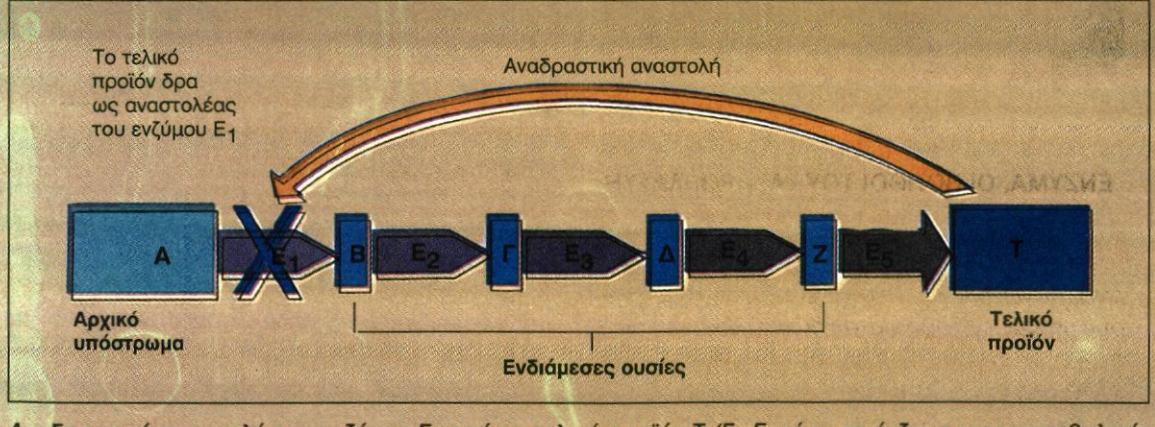
Αναστολή ενζύμων: (α) Ο αναστολέας συνδέεται στο ενεργό κέντρο του ενζύμου και το "καταλαμβάνει", (β) Ο αναστολέας με τη δράση του τροποποιεί το ενεργό κέντρο του ενζύμου, έτσι, ώστε να μην μπορούν να συνδεθούν σ'αυτό τα μόρια - υποστρώματα.

ΕΝΑΣ ΑΛΛΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΑΝΑΣΤΟΛΗΣ ΤΩΝ ΕΝΖΥΜΩΝ

Τα ένζυμα λειτουργούν συνήθως σε ομάδες. Σ' αυτή την περίπτωση το προϊόν της πρώτης ενζυμικής αντίδρασης αποτελεί υπόστρωμα για την επόμενη κ.ο.κ. Με τον τρόπο αυτό εξυπηρετούνται ακολουθίες βιοχημικών αντιδράσεων, οι ***μεταβολικές οδοί****.*

$$A \xrightarrow{E_1} B \xrightarrow{E_2} \Gamma \xrightarrow{E_3} \Delta \xrightarrow{E_4} Z$$

Σε μια τέτοια ακολουθία ενζυμικών αντιδράσεων η πιθανή συσσώρευση ενός προϊόντος μπορεί να προκαλέσει προσωρινή αναστολή της δράσης ενός αρχικού ενζύμου (αναδραστική αναστολή).



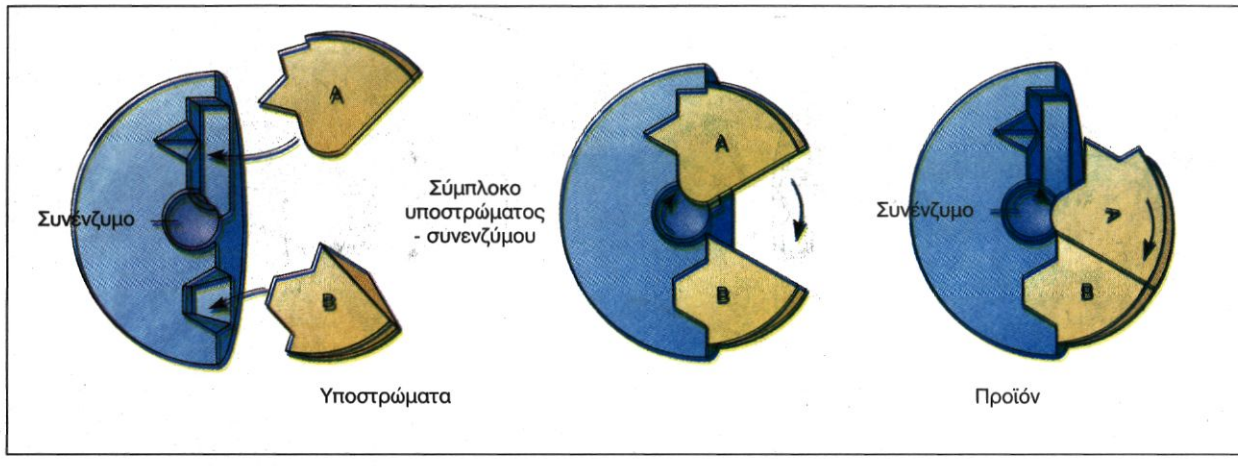
Αναδραστική αναστολή του ενζύμου E_1 από το τελικό προϊόν Τ (E_1-E_5 είναι τα ένζυμα μιας μεταβολικής οδού και Β, Γ, Δ, Ζ οι ενδιάμεσα παραγόμενες ουσίες).

Συμπαράγοντες ενζύμων

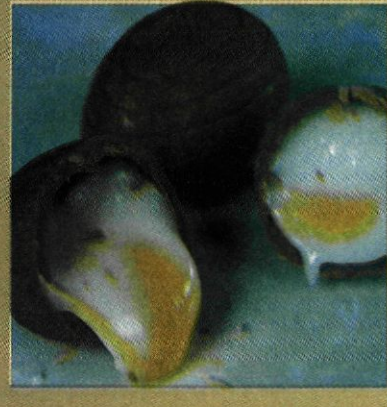
Ορισμένα ένζυμα είναι δραστικά μόνο με την παρουσία ουσιών, μη πρωτεϊνικής φύσης, που ονομάζονται **συμπαράγοντες**. Οι συμπαράγοντες μπορεί να είναι ανόργανα ιόντα (Zn^{2+}, Cu^{2+}, Mn^{2+} κ.ά.) ή και οργανικές ενώσεις. Στην τελευταία κατηγορία ανήκουν και τα **συνένζυμα.**

Πολλά από τα συνένζυμα είναι βιταμίνες ή περιέχουν στο μόριό τους βιταμίνες. Ο οργανισμός μας συνθέτει ορισμένες μόνο από αυτές και αυτό αιτιολογεί το γιατί πρέπει να φροντίζουμε να περιλαμβάνονται στην τροφή μας.

Στην περίπτωση που κάποιο ένζυμο, για να δράσει, χρειάζεται να συνδεθεί με ένα συνένζυμο, τότε μόνο του, όπως μόνο του και το συνένζυμο, θα είναι ανενεργό.



Σχηματική παράσταση του ρόλου των συνενζύμων.



ΕΝΖΥΜΑ, ΟΙ ΒΟΗΘΟΙ ΤΟΥ ΖΑΧΑΡΟΠΛΑΣΤΗ

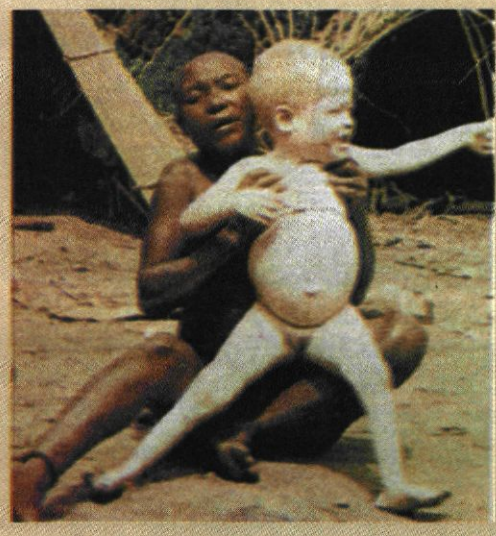
Για ένα ζαχαροπλάστη είναι εύκολο να φτιάξει σοκολατάκια με στερεή γέμιση (αμύγδαλα, πραλίνα, παγωτό κτλ.). Περιχύνει το υλικό της γέμισης με λιωμένη σοκολάτα και περιμένει να κρυώσει και να στερεοποιηθεί. Το τελικό σχήμα ποικίλλει αλλά είναι σταθερό.

Θα έχετε όμως δοκιμάσει και σοκολατάκια με σταθερό σχήμα και ρευστό περιεχόμενο (ρευστή κρέμα σοκολατένιου αβγού που θυμίζει κρόκο, ρευστή γέμιση με γεύση ποτού κτλ.). Αναρωτηθήκατε πώς παρασκευάζονται αυτά τα σοκολατάκια; Σίγουρα δεν είναι δυνατό να προστεθεί λιωμένη σοκολάτα γύρω από ένα ρευστό υλικό και στο τέλος το παρασκεύασμα να έχει συγκεκριμένο, σταθερό σχήμα. Πώς λοιπόν τα καταφέρνει ο ζαχαροπλάστης; Διαθέτει στο εργαστήριό του «ειδικευμένο προσωπικό».

Η παρασκευή των γλυκισμάτων ξεκινά και πάλι με το υλικό της γέμισης, ένα στερεό μείγμα, με συγκεκριμένο σχήμα, το οποίο περιέχει έναν πολυσακχαρίτη και ένα ένζυμο κατάλληλο για τη διάσπαση του πολυσακχαρίτη αυτού. Αυτό το ένζυμο είναι ο «βοηθός» του ζαχαροπλάστη.

Αφού προστεθεί και στερεοποιηθεί το σοκολατένιο περίβλημα, το ένζυμο ενεργοποιείται και διασπά τον πολυσακχαρίτη, με αποτέλεσμα τη μετατροπή του στερεού περιεχομένου σε ρευστό.

Ο «βοηθός» του ζαχαροπλάστη έκανε το θαύμα του αποτελεσματικά και αθόρυβα.



Ο αλφισμός στους Πυγμαίους

ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΛΛΕΙΨΗ ΕΝΖΥΜΩΝ

Σχεδόν όλα τα παιδιά και τα νεαρά άτομα είναι ικανά να αφομοιώσουν τη λακτόζη. Αντίθετα η πλειονότητα των ενήλικων ατόμων ορισμένων πληθυσμιακών ομάδων έχει ***ανεπάρκεια του ενζύμου λακτάση*** *και επομένως παρουσιάζει δυσανεξία στο γάλα. Προκαλείται έτσι συσσώρευση της λακτόζης στο έντερο με αποτέλεσμα κοιλιακή διόγκωση, ναυτία, πόνο και διάρροια.*

Η ***φαινυλκετονουρία*** *οφείλεται στην έλλειψη ενός ενζύμου που συμμετέχει στον καταβολισμό του αμινοξέος φαινυλαλανίνη. Η φαινυλαλανίνη είναι ένα από τα ουσιώδη αμινοξέα του οργανισμού και ο άνθρωπος πρέπει να το προσλαμβάνει από την τροφή του, γιατί δεν μπορεί να το παράγει. Απουσία του ενζύμου που τη διασπά έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευσή της, γεγονός που προκαλεί βλάβες στο νευρικό σύστημα και πρόωρο θάνατο. Τα άτομα που πάσχουν από φαινυλκετονουρία πρέπει να αποφεύγουν ορισμένες τροφές και αναψυκτικά που περιέχουν το γλυκαντικό ασπαρτάμη, μια χημική ένωση που αποτελείται από το αμινοξύ ασπαρτικό συνδεδεμένο με φαινυλαλανίνη.*

Ο αλφισμός *οφείλεται στην έλλειψη ενός ενζύμου που συμμετέχει στο σχηματισμό της χρωστικής του σώματος, των μαλλιών και των ματιών, της μελανίνης.*
Τα άτομα που πάσχουν από αυτή την αρρώστια έχουν άσπρο δέρμα και μαλλιά, καθώς και κόκκινα μάτια. Είναι δε ευαίσθητα στην υπεριώδη ακτινοβολία.

Ο κυαμισμός*, δηλητηρίαση που παθαίνουμε όταν τρώμε κυάμους (κουκιά), οφείλεται στην έλλειψη ενός ενζύμου. Η έλλειψη αυτού του ενζύμου ή η ελαττωμένη δράση του στα ερυθρά αιμοσφαίρια προκαλεί βαριά αιμολυτική αναιμία, δηλαδή καταστροφή των ερυθρών αιμοσφαιρίων και απελευθέρωση της αιμοσφαιρίνης στον ορό του αίματος. Ο κυαμισμός είναι συχνός στους μεσογειακούς λαούς και εμφανίζεται πιο συχνά στα αγόρια. Τα παραπάνω συμπτώματα μπορεί να παρατηρηθούν και σε άτομα που έχουν έλθει σε επαφή με ναφθαλίνη ή φάρμακα κατά της ελονοσίας ή σουλφαμίδες κ.ά.*

Πίνακας: Εφαρμογές ορισμένων κατηγοριών ενζύμων.

ΕΝΖΥΜΑ	ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ
Αμυλάσες	Υδρολύουν το άμυλο σε γλυκόζη και μαλτόζη. Χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία τροφίμων, την οινοποιία, τη ζυθοποιία κ.α.
Λιπάσες	Υδρολύουν τα λιπίδια. Χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία απορρυπαντικών, στην επεξεργασία αποβλήτων κ.α.
Πρωτεάσες	Υδρολύουν τις πρωτεΐνες. Χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία απορρυπαντικών, στην πήξη του γάλακτος και στη μετατροπή του σε γιαούρτι και τυρί, στο σίτεμα του κρέατος κ.α.
Κυτταρινάσες	Υδρολύουν την κυτταρίνη. Χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία των λαχανικών και των δημητριακών.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Κάποια ρούχα από μετάξι και από μαλλί, που προέρχονται από ζωικές πρωτεΐνες, πρέπει να πλένονται στο χέρι με σαπούνι και όχι στο πλυντήριο με βιολογικά απορρυπαντικά. Αν τα βάλουμε στο πλυντήριο, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ειδικά απορρυπαντικά και σ' αυτά να μείνουν για λίγο. Εξηγήστε γιατί.

Εφαρμογές των ενζύμων

Χρόνο με το χρόνο η σημασία των ενζύμων για τις εφαρμογές της Βιοχημείας, της Βιοτεχνολογίας και της Βιοϊατρικής αυξάνεται. Συνεχώς ανακαλύπτονται και μελετώνται νέα ένζυμα με τεράστιο ενδιαφέρον για τις προσπάθειες βελτίωσης της ποιότητας ζωής του ανθρώπου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι χημικές αντιδράσεις που γίνονται στα κύτταρα διευκολύνονται από τα ένζυμα. Τα ένζυμα είναι πρωτεΐνες που επιταχύνουν τις μεταβολικές αντιδράσεις, ελαττώνοντας την ενέργεια ενεργοποίησης.
Η δράση των ενζύμων επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, το pH, η συγκέντρωση του υποστρώματος και του ενζύμου. Μερικά ένζυμα, για να δράσουν, χρειάζονται τη βοήθεια ενός συμπαράγοντα, που είναι οργανική ένωση ή ανόργανο ιόν. Υπάρχουν ουσίες που αναστέλλουν τη δράση των ενζύμων και ονομάζονται αναστολείς.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Τι είναι ενέργεια ενεργοποίησης και ποια η σχέση ενός ενζύμου με αυτήν;

2. Ο τρόπος δράσης των ενζύμων δείχνει ότι τα ένζυμα:
   α. Είναι ειδικά.
   β. Επηρεάζονται από τη θερμοκρασία.
   γ. Είναι πρωτεΐνες.
   δ. Όλα τα προηγούμενα είναι σωστά.
   Σημειώστε τη σωστή απάντηση.

3. Περιγράψτε το μηχανισμό δράσης των ενζύμων. Αναφέρατε τους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν τη δράση αυτή.

4. Ποιες είναι οι ιδιότητες των ενζύμων; Πώς εξηγείται το γεγονός ότι μια μικρή ποσότητα ενζύμου μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διεξαγωγή μιας αντίδρασης, στην οποία μετέχει πολλαπλάσια ποσότητα υποστρώματος;

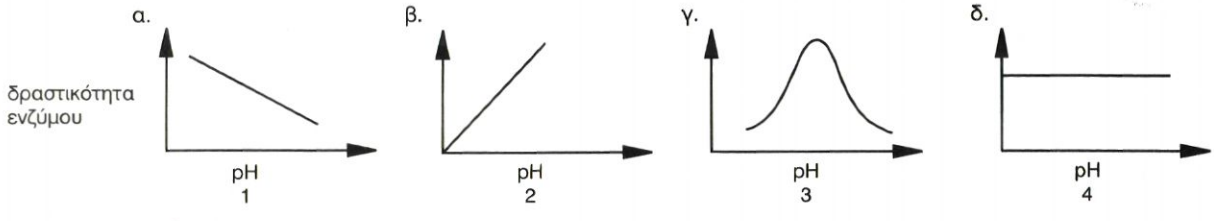
5. Πώς εξηγείται η εξειδίκευση των ενζύμων και η έλλειψη δραστικότητάς τους, όταν βρεθούν σε υψηλές θερμοκρασίες; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

6. Ποιος είναι ο ρόλος των συνενζύμων στον κυτταρικό μεταβολισμό;

7. Τοποθετήστε τα γράμματα Ε (ένζυμο), Υ(υπόστρωμα), ΕΥ(ενζύμο-υπόστρωμα) και Π (προϊόν) στις γραμμές, έτσι ώστε να περιγράψετε μια ενζυμική αντίδραση. Κάθε γράμμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί περισσότερες από μία φορές:
   ..... + ... ⟶ ..... ⟶ ..... + ... + ...

8. Σημειώστε σωστό ή λάθος σε καθεμιά από τις απαντήσεις που ακολουθούν.
   Ένα ένζυμο επιταχύνει την ταχύτητα μιας αντίδρασης:
   α. Προκαλώντας την απελευθέρωση θερμότητας ( )
   β. Αυξάνοντας την κίνηση των μορίων ( )
   γ. Ελαττώνοντας την ενέργεια ενεργοποίησης ( )
   δ. Αλλάζοντας την ενέργεια μεταξύ υποστρώματος και προϊόντων ( )

9. Ποια καμπύλη από τις παρακάτω εκφράζει, κατά την άποψή σας, τη σχέση pH και δραστικότητας ενζύμου; Βάλτε σε κύκλο τον αριθμό που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση (α, β, γ, δ).



10. Βάλτε σε κύκλο το Σ, αν αυτό που εκφράζει καθεμιά από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστό, ή το Λ, αν είναι λάθος:
    α. Ένα μόριο καταλάσης έχει καταλύσει τη διάσπαση ενός μορίου υπεροξειδίου του υδρογόνου. Το ίδιο μόριο μπορεί να καταλύσει τη διάσπαση και άλλων μορίων υπεροξειδίου του υδρογόνου ..... Σ Λ
    β. Η αμυλάση του σάλιου διασπά πρωτεΐνες ..... Σ Λ

γ. Όλες οι πρωτεΐνες είναι ένζυμα ..... Σ Λ
δ. Η διαφορά ενέργειας μεταξύ αντιδρώντων και προϊόντων είναι μεγαλύτερη, όταν η αντίδραση δεν είναι ενζυμική ..... Σ Λ

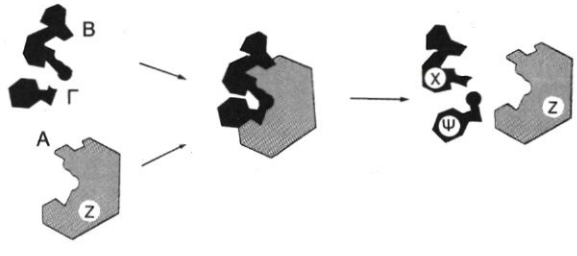
11. Υποθέστε ότι βρίσκεται σε εξέλιξη, σε τρεις διαφορετικές θερμοκρασίες, η διάσπαση μιας πρωτεΐνης στα αμινοξέα που την αποτελούν. Μετράμε την ποσότητα των αμινοξέων που προκύπτουν από τη διάσπαση της πρωτεΐνης, σε κάθε περίπτωση, μετά από τρεις ώρες και μετά από πενήντα ώρες. Τα αποτελέσματα καταγράφονται στον πίνακα που ακολουθεί:

Χρόνος \ Θερμοκρασία	10°C	20°C	60°C
Μετά 3h	50mg	110mg	100mg
Μετά 50h	650mg	820mg	130mg

Από πού μπορείτε να συμπεράνετε αν μετέχει ένζυμο στην παραπάνω αντίδραση και, αν ναι, σε ποια κατηγορία ενζύμων ανήκει;

12. Πολλά απορρυπαντικά χαρακτηρίζονται ως βιολογικά, επειδή περιέχουν ένα ένζυμο που δρα σε λεκέδες που περιέχουν πρωτεΐνες. Το ένζυμο αυτό είναι μια **πρωτεάση**, που προέρχεται από ένα βακτήριο. Για την άριστη απόδοση του απορρυπαντικού χρειάζεται να υπάρχει ήπιο αλκαλικό περιβάλλον και κατάλληλη θερμοκρασία (μεταξύ 45°C και 55°C):
α. Να αναφέρετε δυο παραδείγματα λεκέδων που θα μπορούσε να απομακρύνει το παραπάνω βιολογικό απορρυπαντικό.
β. Αν η θερμοκρασία στο νερό του πλυντηρίου φθάσει τους 70°C, νομίζετε ότι θα επηρεαστεί η δράση της πρωτεάσης;
γ. Η πρωτεάση θα λειτουργεί με ταχύτερο ή βραδύτερο ρυθμό, όταν το απορρυπαντικό γίνει ελαφρά όξινο;

13. Η διπλανή εικόνα παριστάνει σχηματικά μια ενζυμική αντίδραση:



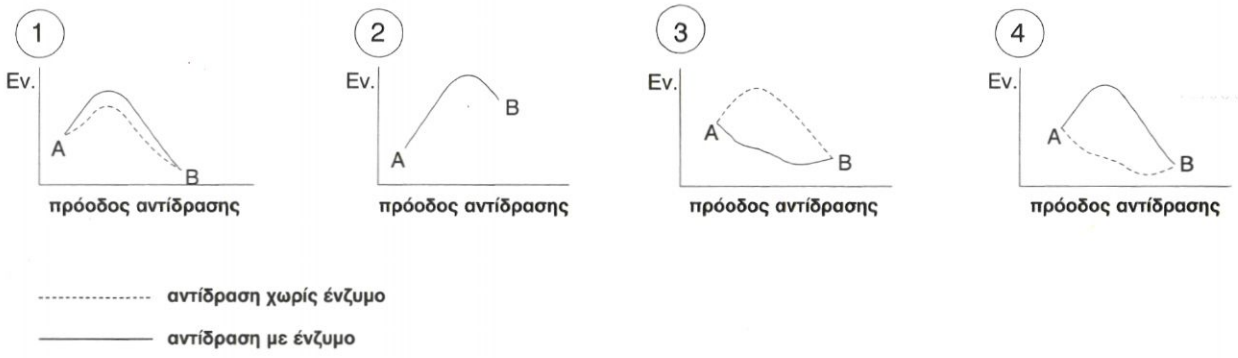
α. Ποιο είναι το ένζυμο και ποια τα υποστρώματα;
β. Να ονομάσετε την περιοχή Α. Ποια είναι η λειτουργία της;
γ. Να αναφέρετε δυο ιδιότητες του Ζ που προκύπτουν από την εικόνα.
δ. Περιγράψτε τρεις άλλες ιδιότητες του Ζ.

14. Η αμυλάση του σάλιου του ανθρώπου διασπά το άμυλο σε μικρότερα κομμάτια. Η ταχύτητα με την οποία δρα εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα προέρχονται από ένα πείραμα που έγινε για να διαπιστωθεί η επίδραση της θερμοκρασίας στη δράση της αμυλάσης. Στο πείραμα αυτό σε καθέναν από τους έξι δοκιμαστικούς σωλήνες τοποθετήθηκαν 5ml διαλύματος αμύλου και 1ml αμυλάσης:

Θ (°C)	20	25	30	35	40	45
Χρόνος (sec) για την διάσπαση του αμύλου	601	315	216	180	198	417

α. Να γίνει η γραφική παράσταση των αποτελεσμάτων (στον οριζόντιο άξονα τοποθετήστε τη θερμοκρασία και στον κάθετο άξονα το χρόνο).
β. Σε ποια θερμοκρασία η αμυλάση λειτουργεί άριστα;
γ. Γιατί στην αρχή του πειράματος προστέθηκε η ίδια ποσότητα διαλύματος αμύλου και αμυλάσης σε καθένα δοκιμαστικό σωλήνα;
δ. Η ταχύτητα των χημικών αντιδράσεων συνήθως αυξάνει με την αύξηση της θερμοκρασίας. Γιατί στο πείραμα η διάσπαση του αμύλου ελαττώνεται πάνω από τους 40°C;
ε. Να αναφέρετε έναν άλλο παράγοντα που θα επηρέαζε αρνητικά τη δράση της αμυλάσης.

15. Σε μια τάξη ο ξαθηγητής της Βιολογίας ζήτησε από τους μαθητές να απεικονίσουν διαγραμματικά την πορεία της εξώθερμης αντίδρασης: A ⟶ B + Ενέργεια. Οι μαθητές πρότειναν 4 διαφορετικά διαγράμματα, που συσχετίζουν την ενέργεια των σωμάτων που παίρνουν μέρος σ' αυτήν με την πορεία της. Και τα 4 όμως θεωρήθηκαν λανθασμένα από τον καθηγητή. Να εξηγήσετε ποιό λάθος και γιατί, υπάρχει σε καθένα από αυτά:



ΑΣ ΕΡΕΥΝΗΣΟΥΜΕ...

1. Ίσως έχει τύχει να ακούσετε ότι «η αιμοσφαιρίνη έχει κοινά χαρακτηριστικά με τα ένζυμα».
Πού μπορεί να στηρίζεται αυτή η άποψη; Τεκμηριώστε την απάντησή σας ξεκινώντας από τη δομή του μορίου της αιμοσφαιρίνης και τη λειτουργία που αυτό κάνει στον οργανισμό.

2. Υπάρχουν κάποιοι που πάσχουν από μια κληρονομική ασθένεια, οι οποίοι δεν μπορούν να μεταβολίσουν, λόγω έλλειψης ενός ενζύμου, τη φρουκτόζη, έναν απλό υδατάνθρακα που υπάρχει άφθονος στα φρούτα. Παιδιά με έλλειψη αυτού του ενζύμου έχουν χαμηλές νοητικές και κινητικές δυνατότητες. Τα μεγαλύτερα παιδιά παρουσιάζουν πνευματική καθυστέρηση και σε πιο προχωρημένη ηλικία το νευρικό σύστημα του ατόμου καταρρέει, με τελικό αποτέλεσμα το θάνατο. Τα μόρια φρουκτόζης εισέρχονται στη διαδικασία της κυτταρικής αναπνοής, στις πρώτες αντιδράσεις του σταδίου της γλυκόλυσης. Το ένζυμο που λείπει θα μπορούσε, σε φυσιολογικές συνθήκες, να καταλύσει την αντίδραση αυτής της παρεμβολής.
Παίρνοντας υπόψη αυτή την πληροφορία, υποθέστε και αιτιολογήστε τι μπορεί να συμβαίνει, σε κυτταρικό επίπεδο, σ' αυτά τα άτομα.

3. Προσδιορίστε προϊόντα, από αυτά που συνήθως καταναλώνουμε στην καθημερινή ζωή (απορρυπαντικά κ.ά.), τα οποία περιέχουν ένζυμα. Καταγράψτε τα ένζυμα που περιέχονται σ' αυτά και προσδιορίστε το ρόλο τους ως συστατικών των συγκεκριμένων προϊόντων. Διερευνήστε το αν οι οδηγίες χρήσης, που δίνονται στη συσκευασία κάθε προϊόντος, καθοδηγούν σωστά τον καταναλωτή, ώστε να αποφεύγει την αναποτελεσματική χρήση. Θα ήταν ενδιαφέρον να κάνετε μια έρευνα στο άμεσο κοινωνικό σας περιβάλλον για το κατά πόσο οι καταναλωτές διαβάζουν τη σύσταση και τις οδηγίες χρήσης των προϊόντων που αγοράζουν και καταναλώνουν, και για το αν θεωρούν απαραίτητο να τις ακολουθούν.

3.3 ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

Αυτότροφοι και ετερότροφοι οργανισμοί

Η ζωή στον πλανήτη μας, εδώ και δισεκατομμύρια χρόνια, στηρίζεται στην ενέργεια του Ήλιου. Από την ενέργεια αυτή, που εκπέμπεται υπό μορφή ακτινοβολίας, ένα πολύ μικρό μέρος παγιδεύεται από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Η φωτεινή ενέργεια που παγιδεύεται μετατρέπεται σε χημική και αποθηκεύεται σε οργανικά μόρια, τα οποία παράγουν οι οργανισμοί αυτοί μέσα από μια διαδικασία που την ονομάζουμε **φωτοσύνθεση**.

Η φωτοσύνθεση αποτελεί ίσως την πιο σημαντική μεταβολική πορεία απ' όσες γίνονται στη βιόσφαιρα. Η δέσμευση της φωτεινής ενέργειας κατά τη φωτοσύνθεση γίνεται από τη χλωροφύλλη και τις άλλες φωτοσυνθετικές χρωστικές. Με τη βοήθειά τους οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί συνθέτουν υδατάνθρακες (γλυκόζη), χρησιμοποιώντας απλές ανόργανες ενώσεις, όπως το διοξείδιο του άνθρακα και το νερό, που βρίσκουν άφθονες στο περιβάλλον τους.

Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί ανήκουν στους **αυτότροφους** οργανισμούς, επειδή παράγουν μόνοι τους όλες τις οργανικές ουσίες που τους είναι απαραίτητες χρησιμοποιώντας ως πρώτη ύλη το προϊόν της φωτοσύνθεσης. Χαρακτηρίζονται γι' αυτό και ως **παραγωγοί**. Οι οργανισμοί που δεν μπορούν να συνθέσουν μόνοι τους οργανικές ενώσεις από απλές ανόργανες, αλλά είναι υποχρεωμένοι να τις προμηθεύονται έτοιμες από το περιβάλλον τους, χαρακτηρίζονται ως **ετερότροφοι**. Τους χαρακτηρίζουμε επίσης και ως **καταναλωτές**, γιατί εξασφαλίζουν την τροφή τους τρώγοντας («καταναλώνοντας») άλλους οργανισμούς.
Ικανότητα φωτοσύνθεσης έχουν όλοι οι οργανισμοί που διαθέτουν φωτοσυνθετικές χρωστικές. Από τους ευκαρυωτικούς οργανισμούς φωτοσύνθεση γίνεται στα φυτά και στα φύκη, και από τους προκαρυωτικούς σε ορισμένα βακτήρια και στα κυανοφύκη (κυανοβακτήρια).
Είναι χαρακτηριστικό ότι οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί που ζουν στις θάλασσες παράγουν το 45 έως 60%, περίπου, της συνολικής παραγωγής οργανικής ύλης στον πλανήτη μας.

Σημασία της φωτοσύνθεσης

Όλοι σχεδόν οι οργανισμοί πάνω στον πλανήτη μας εξαρτώνται άμεσα ή έμμεσα από τη φωτοσύνθεση. Οι σύνθετες οργανικές ουσίες που παράγονται από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς αποτελούν, μέσω των **τροφικών αλυσίδων**, πηγές θρεπτικών ουσιών για τους ετερότροφους οργανισμούς: άμεσα για τους καταναλωτές πρώτης τάξης (**φυτοφάγους**) και έμμεσα για τους καταναλωτές δεύτερης ή ανώτερης τάξης (**σαρκοφάγους**).

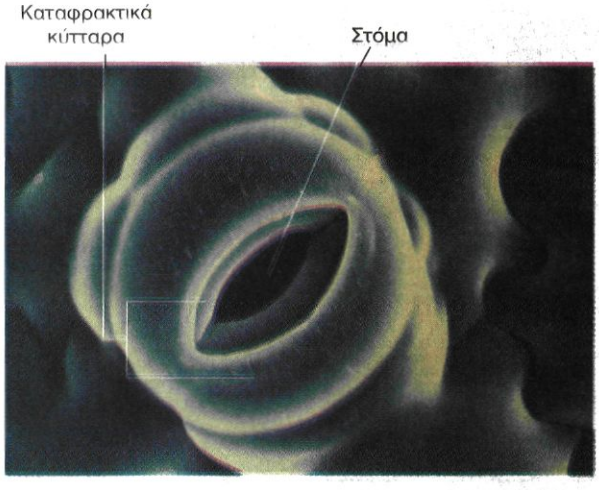
Οι νεκροί οργανισμοί, τα απεκκρίματα των ζωικών και τα τμήματα των φυτικών που έχουν αποκοπεί (φύλλα, κλαδιά κ.ά.), διασπώνται από μια κατηγορία ετερότροφων οργανισμών, τους **αποικοδομητές**. Σ' αυτούς ανήκουν βακτήρια και μύκητες. Τα προϊόντα της αποικοδόμησης (π.χ. CO_2, H_2O) μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν από τα φυτά και από τους άλλους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς για σύνθεση οργανικής ύλης. Η ύλη δηλαδή ακολουθεί κυκλική πορεία μέσα στα οικοσυστήματα.

Η ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ ΩΣ «ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ» ΠΗΓΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Οι φωτοσυνθετικοί οργανισμοί αποτέλεσαν πάντα πηγή ζωής για τον πλανήτη μας, ακόμη και αυτοί που έζησαν σε άλλες εποχές, αφού μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμε προϊόντα τους. Τα υλικά που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος, για να εξασφαλίσει ενέργεια, προέρχονται κυρίως από φωτοσυνθετικές διαδικασίες, τωρινές ή παλιότερες. Το ξύλο, για παράδειγμα, είναι το πιο κοινό σπιτικό καύσιμο. Τα καύσιμα, όπως οι γαιάνθρακες, το φυσικό αέριο και το πετρέλαιο, προέρχονται από φυτά και άλλους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, που έζησαν σε παλαιότερες γεωλογικές εποχές. Σήμερα τα φυτά αποτελούν το κλειδί για την επίλυση του προβλήματος έλλειψης τροφής για τον ανθρώπινο πληθυσμό. Η επίλυση αυτού του οξέος προβλήματος θα εξαρτηθεί από τις δυνατότητές μας να αυξήσουμε την απόδοση των διάφορων ποικιλιών καλλιεργήσιμων φυτών.

Το φύλλο ως όργανο φωτοσύνθεσης των φυτών

Η φωτοσύνθεση γίνεται στα πράσινα μέρη των φυτών, που είναι κυρίως τα φύλλα και συχνά ο βλαστός τους. Η δομή του φύλλου είναι κατάλληλα προσαρμοσμένη, για να εξυπηρετεί τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης. Σε εγκάρσια τομή του παρατηρούμε τις δύο **επιδερμίδες**, την πάνω και την κάτω, που καλύπτονται συνήθως από **εφυμενίδα**. Ανάμεσα στις δύο επιδερμίδες βρίσκεται το **μεσόφυλλο**, που διασχίζεται από **αγγεία**.

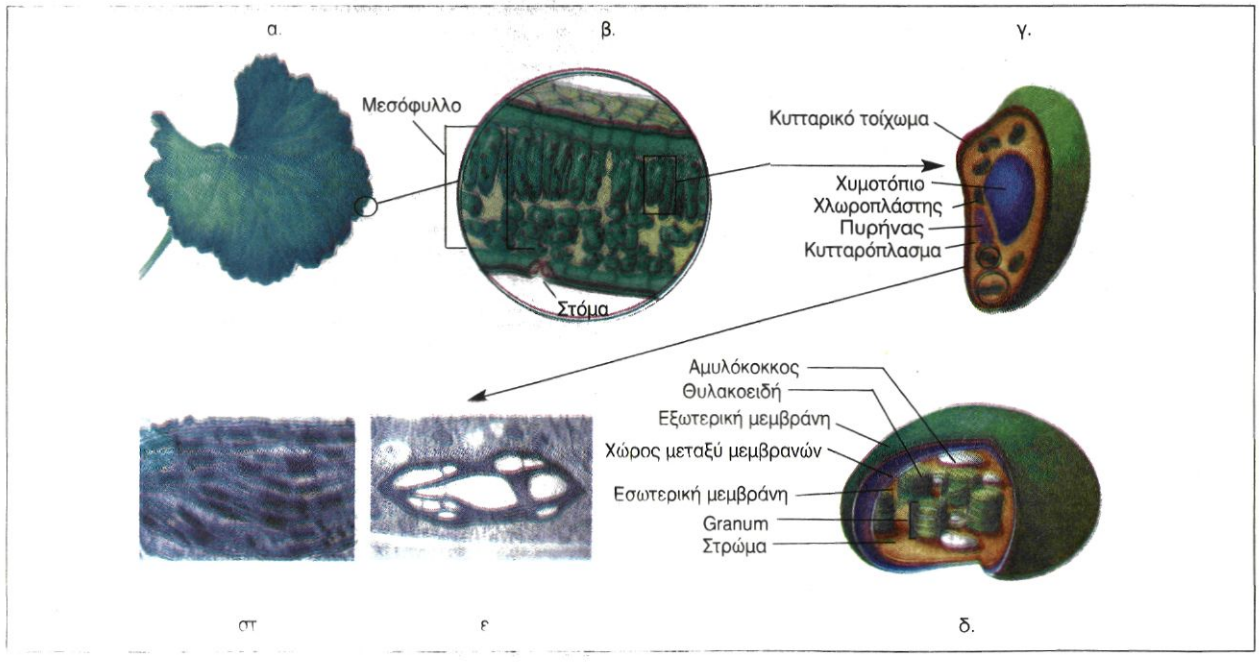


Στόμα φυτού με τα καταφρακτικά κύτταρα.

Η κάτω επιδερμίδα έχει μικρά ανοίγματα, που λέγονται **στόματα**. Το καθένα απ' αυτά περιβάλλεται από ένα ζευγάρι κυττάρων, τα **καταφρακτικά κύτταρα**. Τα κύτταρα του μεσόφυλλου, που είναι και ο θεμελιώδης ιστός του φύλλου, διαθέτουν πολλούς χλωροπλάστες.

Η είσοδος του ατμοσφαιρικού διοξειδίου του άνθρακα γίνεται με διάχυση από τα στόματα προς τους μεσοκυττάριους χώρους των κυττάρων του μεσόφυλλου και τελικά φτάνει στους χλωροπλάστες. Το νερό εισέρχεται στις ρίζες από το έδαφος και μέσω των αγγείων φτάνει στα φύλλα. Μαζί με το νερό μεταφέρονται ιόντα, όπως νιτρικά, φωσφορικά, θειικά, μαγνησίου κ.ά., που χρησιμεύουν στη σύνθεση πρωτεϊνών και άλλων ουσιών.

Κατά τη φωτοσύνθεση, όπως θα δούμε, παράγεται οξυγόνο, το οποίο εξέρχεται από τα στόματα των φύλλων στην ατμόσφαιρα. Η άντληση του νερού από το έδαφος και η ροή του στα αγγεία διευκολύνεται με την εξάτμιση νερού από τα στόματα (**διαπνοή**). Το άνοιγμα και κλείσιμο των στομάτων επιτρέπει στο φυτό να ελέγχει το ρυθμό εξάτμισης του νερού, ανάλογα με τη διαθεσιμότητά του στο έδαφος.



α) Η φωτοσύνθεση γίνεται στα πράσινα μέρη του φυτού, όπως είναι τα φύλλα, β) κάθετη τομή φύλλου στην οποία απεικονίζονται η πάνω και κάτω επιδερμίδα, το μεσόφυλλο και ένα στόμα, γ) κύτταρο μεσόφυλλου, δ) χλωροπλάστης, ε) ηλεκτρονική μικροφωτογραφία χλωροπλάστη και στ) ηλεκτρονική μικροφωτογραφία grana.

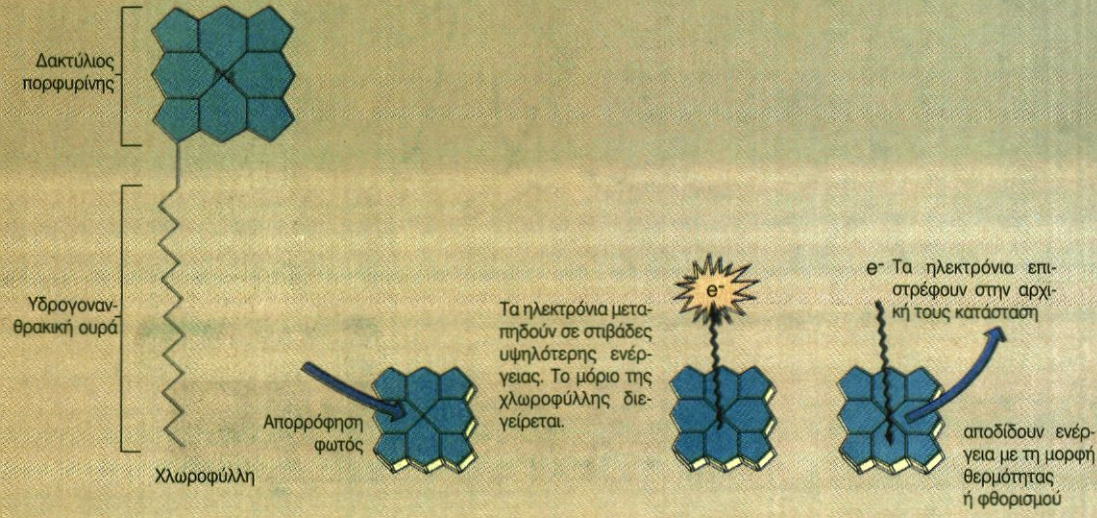
Η ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΜΟΡΙΟΥ ΤΗΣ ΧΛΩΡΟΦΥΛΛΗΣ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΣΤΗ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

Το μόριο της χλωροφύλλης, αποτελείται από μια υδρογονανθρακική «ουρά», η οποία συνδέεται με μια πολύπλοκη κυκλική δομή (δακτύλιο πορφυρίνης) που περιέχει στο κέντρο της ένα άτομο μαγνησίου. Τα υπόλοιπα άτομα που σχηματίζουν το δακτύλιο συνδέονται μεταξύ τους με απλούς και διπλούς δεσμούς. Οι δεσμοί αυτοί έχουν τη δυνατότητα να μετατρέπονται και αυτό επιτρέπει στο μοριο της χλωροφύλλης να δεσμεύει ισχυρά τη φωτεινή ακτινοβολία. Λίγα μόνο mgr χλωροφύλλης μέσα σε ένα λίτρο νερού μπορούν να απορροφήσουν όλη σχεδόν την ερυθρή και την μπλε ακτινοβολία που περνά από αυτό. Αυτή την ενέργεια «κλέβουν» τα ηλεκτρόνια που υπάρχουν στο δακτύλιο της πορφυρίνης, για να μεταπηδήσουν σε στιβάδες υψηλότερης ενέργειας, με αποτέλεσμα τη διέγερση του μορίου της χλωροφύλλης.

Αν το μόριο της χλωροφύλλης βρίσκεται σε διάλυμα, μετά τη διέγερση τα ηλεκτρόνια συνήθως επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση, αποδίδοντας ενέργεια με τη μορφή θερμότητας ή φθορισμού.

Αν όμως βρίσκονται κοντά κάποια μόρια - υποδοχείς, τα ηλεκτρόνια μπορούν να περάσουν από το μόριο της χλωροφύλλης σ' αυτά.

Η χλωροφύλλη δηλαδή έχει την ικανότητα να απορροφά φωτεινή ακτινοβολία και να διεγείρεται. Στη συνέχεια ιονίζεται, δηλαδή χάνει ηλεκτρόνια, τα οποία δεσμεύονται από άλλα μόρια. Αυτό είναι και το μυστικό της φωτοσύνθεσης.

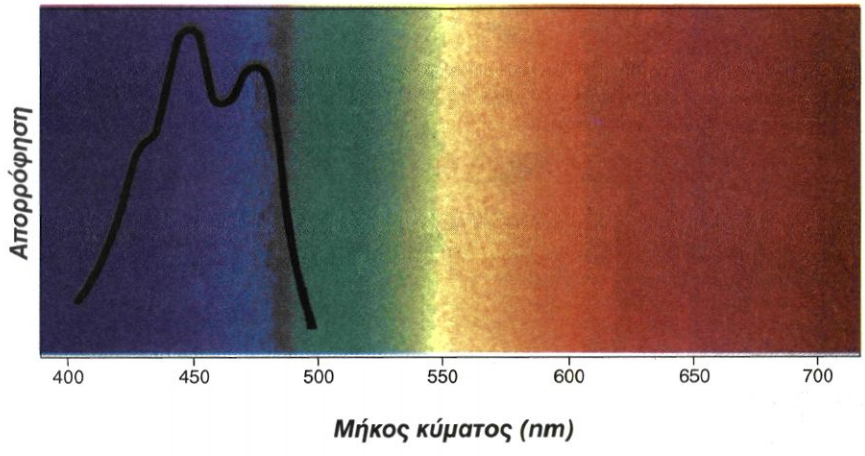


Ορατό φως - φωτοσυνθετικές χρωστικές

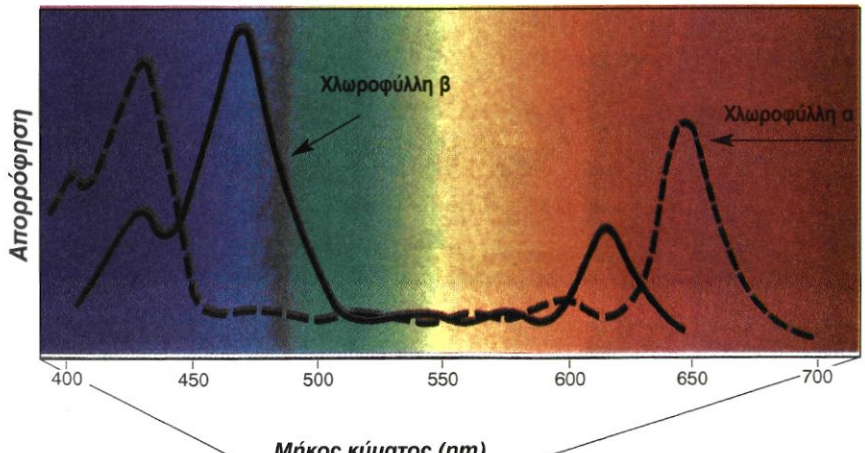
Το ορατό φως, που αποτελεί ένα μικρό μόνο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, όταν περνά μέσα από ένα πρίσμα αναλύεται σε ακτινοβολίες διάφορων μηκών κύματος. Αυτές αντιστοιχούν στα χρώματα ιώδες, μπλε, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και κόκκινο. Η εικόνα αυτή είναι η εικόνα του φάσματος.

Στο κύτταρο η φωτεινή ακτινοβολία δεσμεύεται από τις φωτοσυνθετικές χρωστικές. Στα ανώτερα φυτά, οι χρωστικές αυτές, βρίσκονται μέσα στα grana των χλωροπλαστών και ανήκουν σε δυο κατηγορίες, τις χλωροφύλλες και τα καροτενοειδή. Οι χλωροφύλλες είναι πολύπλοκες οργανικές ενώσεις, που φέρουν ένα κεντρικό άτομο μαγνησίου. Οι συνηθέστερες κατηγορίες χλωροφυλλών είναι οι χλωροφύλλες α και β. Η χλωροφύλλη α βρίσκεται σ' όλους τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς, με εξαίρεση τα φωτοσυνθετικά βακτήρια.

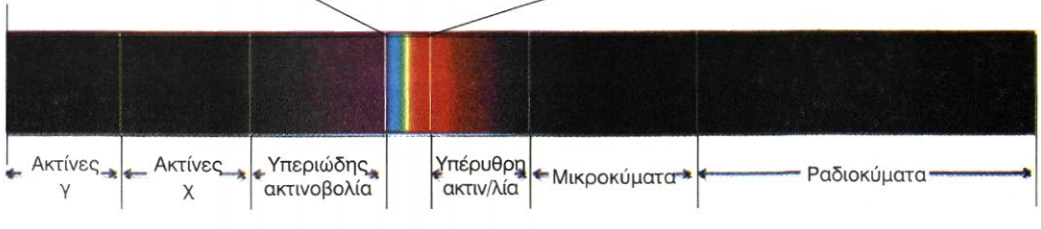
Οι χλωροφύλλες απορροφούν κυρίως την μπλε και την ερυθρή ακτινοβολία και ανακλούν την πράσινη, δίνοντας στα φυτά το χαρακτηριστικό πράσινο χρώμα. Τα καροτενοειδή απορροφούν κυρίως την μπλε ακτινοβολία.



Καμπύλη απορρόφησης κοροτενοειδών



Καμπύλες απορρόφησης των χλωροφυλλών α και β



Το ορατό φως αποτελεί ένα μικρό μόνο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας.

Το φθινόπωρο στα φυλλοβόλα φυτά οι χλωροφύλλες αποδομούνται και δεν ξανασχηματίζονται. Η απουσία χλωροφυλλών επιτρέπει σε άλλες χρωστικές, όπως τα καροτενοειδή , να εμφανίζονται. Αυτές οι χρωστικές ανακλούν ακτινοβολίες διαφορετικού μήκους κύματος, όπως το κίτρινο και το πορτοκαλί. Αποτέλεσμα αυτού είναι η ποικιλία των χρωμάτων που παρουσιάζουν τα φύλλα διάφορων φυτών την εποχή αυτή. Η μεγάλη ποικιλία φωτοσυνθετικών χρωστικών βοηθά τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς να αξιοποιούν όσο γίνεται περισσότερες ακτινοβολίες του ορατού φωτός για την εξασφάλιση ενέργειας για τη φωτοσύνθεση.

Η ΤΥΧΗ ΤΗΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ...

Από την ηλιακή ακτινοβολία η οποία προσπίπτει πάνω σε ένα φύλλο το 80% περίπου απορροφάται. Από το υπόλοιπο 20% ένα μέρος αντανακλάται από την επιφάνεια του φύλλου και ένα μέρος το διαπερνά. Από την απορροφούμενη ενέργεια ένα μέρος μετατρέπεται σε θερμότητα και αυξάνει τη θερμοκρασία του φύλλου. Μόνο το 0,5 έως 3,5% όλης της φωτεινής ενέργειας, η οποία προσπίπτει στο φύλλο, χρησιμοποιείται για τη φωτοσύνθεση.

«... η χλωροφύλλη είναι ο Προμηθέας που κλέβει τη φωτιά από τους ουρανούς».

Πορεία της φωτοσύνθεσης

Στις αρχές του 20ού αιώνα οι βιολόγοι ερευνητές διαπίστωσαν ότι ή φωτοσύνθεση περιλαμβάνει δύο ομάδες αντιδράσεων. Τις αντιδράσεις που εξαρτώνται από το φως **(φωτεινή φάση)** και τις αντιδράσεις που είναι ανεξάρτητες από την ύπαρξη φωτός **(σκοτεινή φάση)**. Κατά τις αντιδράσεις της φωτεινής φάσης, που γίνονται στα grana των χλωροπλαστών, η φωτεινή ενέργεια χρησιμοποιείται για τη σύνθεση μορίων ATP και τη δημιουργία υδρογόνου ($H^+ + e^-$).
Κατά τις αντιδράσεις της σκοτεινής φάσης, που γίνονται στο στρώμα των χλωροπλαστών, τα μόρια του ATP και του υδρογόνου που παρήχθησαν κατά τη φωτεινή φάση χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή του διοξειδίου του άνθρακα σε υδατάνθρακες (γλυκόζη).

Φωτεινή φάση

Κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης της φωτοσύνθεσης συμβαίνουν σημαντικά γεγονότα. Μόρια χλωροφύλλης, τα οποία βρίσκονται κατά ομάδες στα grana των χλωροπλαστών, δεσμεύουν φωτεινή ενέργεια και διεγείρονται (κάποια από τα ηλεκτρόνιά τους αλλάζουν στιβάδα) και στη συνέχεια αποδιεγείρονται. Η ενέργεια που αποδίδεται κατά την αποδιέγερση των μορίων αυτών προκαλεί τον ιονισμό (απώλεια ηλεκτρονίων) άλλων μορίων χλωροφύλλης.
Μέρος της ενέργειας που παράγεται από τις διαδικασίες αυτές, ίσως όμως και ενέργεια προερχόμενη από άλλες πηγές, άγνωστες σε μεγάλο βαθμό, προκαλεί τη διάσπαση μορίων νερού σε υδρογόνο και οξυγόνο (φωτόλυση νερού). Παράλληλα, σχηματίζεται ATP από ADP.
Το οξυγόνο που παράγεται από τη φωτόλυση του νερού ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα, ενώ το υδρογόνο δεσμεύεται από μόρια του συνενζύμου NADP,τα οποία μετατρέπονται σε NADPH. Το ATP και το NADPH που παράγονται κατά τη φωτεινή φάση της φωτοσύνθεσης, χρησιμοποιούνται στις αντιδράσεις της σκοτεινής φάσης για το σχηματισμό των τελικών προϊόντων.

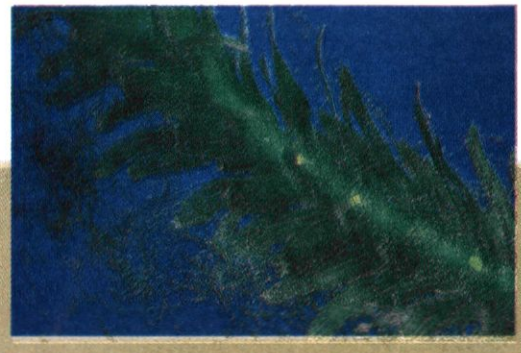
Σκοτεινή φάση

Το πρώτο βήμα των αντιδράσεων της σκοτεινής φάσης γίνεται με τη δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα από μια πεντόζη. Ακολουθεί μια σειρά αντιδράσεων κατά τις οποίες με τη βοήθεια των μορίων ATP και του NADPH, που έχουν παραχθεί από τις αντιδράσεις της φωτεινής φάσης, παράγεται τελικά γλυκόζη και άλλες ουσίες. Στα προϊόντα αυτής της σειράς αντιδράσεων περιλαμβάνεται και νερό (H_2O).

Η γενική αντίδραση της φωτοσύνθεσης είναι:

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{χλωρ.}]{\text{φως}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

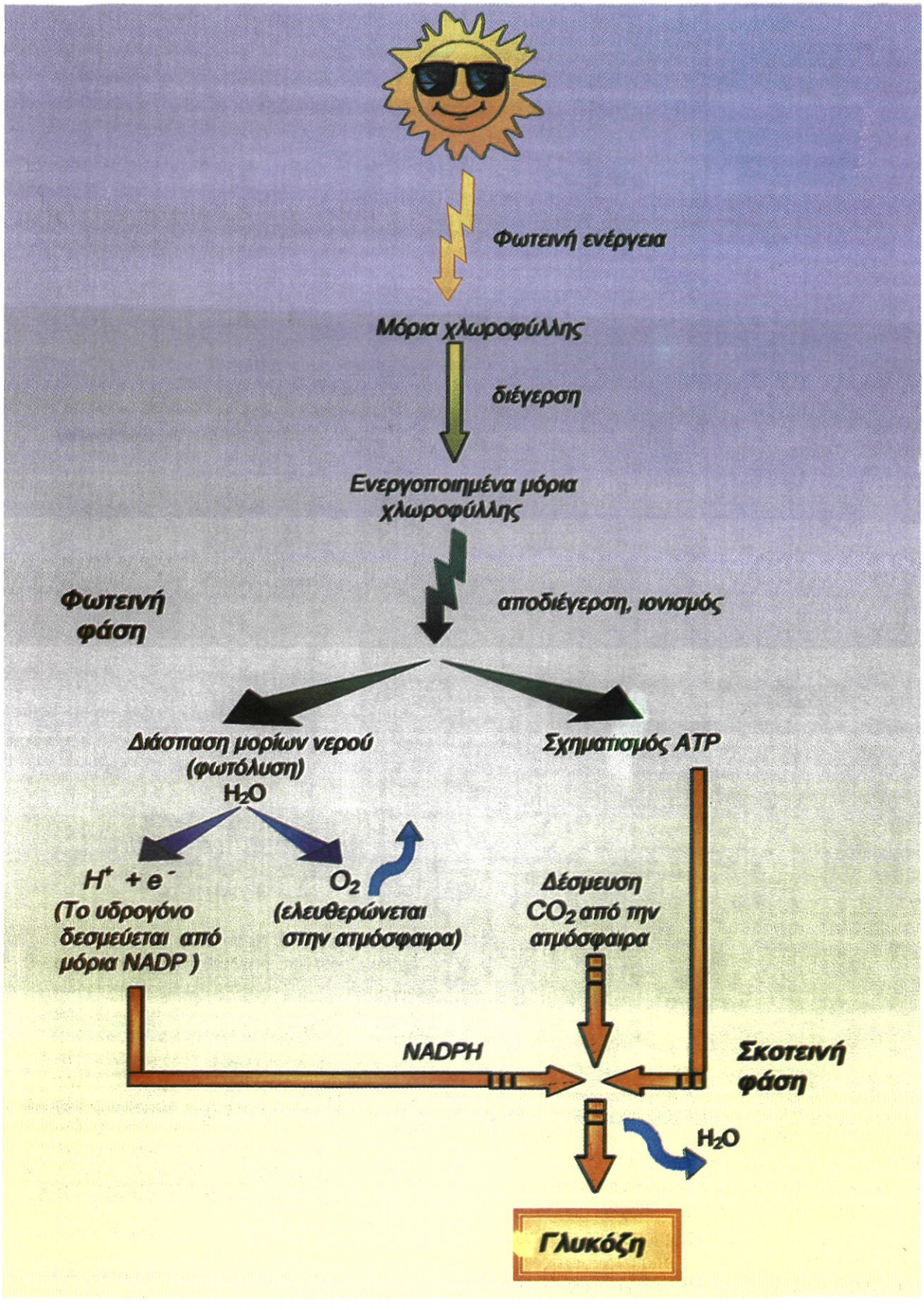
Στα φυτά, μέρος της γλυκόζης, που σχηματίζεται κατά τη φωτοσύνθεση, αποθηκεύεται με τη μορφή αμύλου στους αμυλοπλάστες. Οι αμυλοπλάστες βρίσκονται στα φυτικά κύτταρα αλλά και σε ειδικά αποταμιευτικά μέρη των φυτών, όπως είναι οι κόνδυλοι της πατάτας.



Κατά τις ηλιόλουστες ημέρες το οξυγόνο το οποίο ελευθερώνεται από τα υδρόβια φυτά γίνεται αντιληπτό με την μορφή φυσαλίδων μέσα στο νερό.

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΟΞΥΓΟΝΟΥ ΠΟΥ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝΕΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ

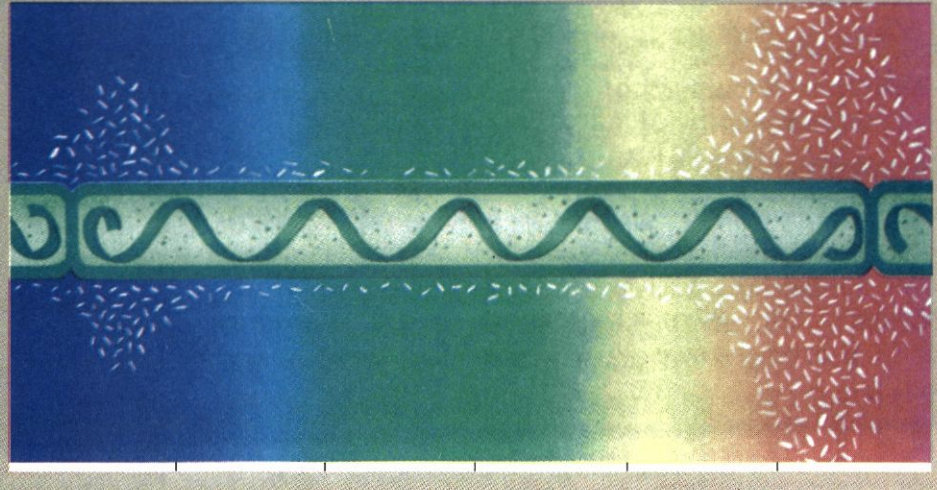
Οι Σ. Ρούμπεν (S. Ruben) και Μ. Κάμεν (M. Kamen), το 1941, απέδειξαν ότι το οξυγόνο που ελευθερώνεται κατά τη φωτοσύνθεση προέρχεται από τη φωτόλυση του νερού και όχι από το διοξείδιο του άνθρακα. Για να το αποδείξουν, τοποθέτησαν το πράσινο μονοκύτταρο φύκος Χλωρέλλα (Chlorella) σε νερό που περιείχε το βαρύ ισότοπο του οξυγόνου (^{18}O) αντί του κανονικού οξυγόνου. Διαπίστωσαν ότι το οξυγόνο που ελευθερωνόταν από τη φωτοσύνθεση ήταν το ^{18}O.


Φωτεινή ενέργεια
Μόρια χλωροφύλλης
διέγερση
Ενεργοποιημένα μόρια χλωροφύλλης
αποδιέγερση, ιονισμός
Φωτεινή φάση
Διάσπαση μορίων νερού (φωτόλυση) H_2O
Σχηματισμός ATP
$H^+ + e^-$ (Το υδρογόνο δεσμεύεται από μόρια NADP)
O_2 (ελευθερώνεται στην ατμόσφαιρα)
Δέσμευση CO_2 από την ατμόσφαιρα
NADPH
Σκοτεινή φάση
H_2O
Γλυκόζη

ΤΟ ΠΕΙΡΑΜΑ ΤΟΥ Τ. ΕΝΓΚΕΛΜΑΝ (T.W. ENGELMANN)

Το 1881 ο Γερμανός βοτανικός επιστήμονας Τ. Ένγκελμαν διερεύνησε και τελικά προσδιόρισε ποιες είναι οι πιο αποτελεσματικές ακτινοβολίες για τη φωτοσύνθεση. Φώτισε διαδοχικά τμήματα νηματίου Σπιρογύρα (Spirogyra: φύκος που έχει σπειροειδείς χλωροπλάστες) με διαφορετικές ακτινοβολίες, τις οποίες έπαιρνε από την ανάλυση του ορατού φωτός μέσω ενός πρίσματος. Παρατήρησε ότι τα αερόβια βακτήρια που είχαν δυνατότητα κίνησης συγκεντρώνονταν σε εκείνη την περιοχή του νηματίου που φωτιζόταν από την ερυθρή ακτινοβολία. Διαπίστωσε στη συνέχεια ότι η συγκέντρωση του οξυγόνου σ' αυτή την περιοχή ήταν μεγαλύτερη. Από το γεγονός αυτό συμπέρανε ότι η ερυθρή ακτινοβολία ήταν πιο αποτελεσματική για τη φωτοσύνθεση. Ο αριθμός των βακτηρίων που συγκεντρώνονταν στην περιοχή που φωτιζόταν από την μπλε ακτινοβολία ήταν μικρός, παρά το ότι και η μπλε ακτινοβολία απορροφάται επίσης ισχυρά από τις χλωροφύλλες. Αυτό σημαίνει ότι δεν είναι τόσο αποτελεσματική για τη διεξαγωγή της φωτοσύνθεσης.

Πείραμα Engelmann



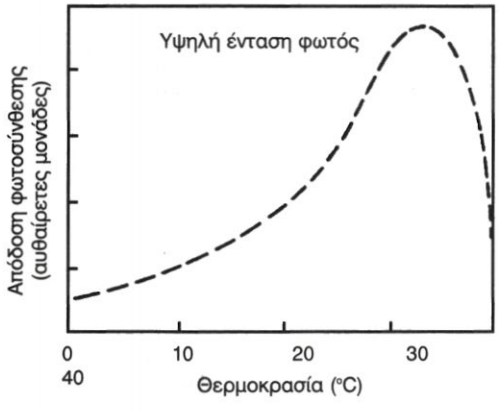
400 450 500 550 600 650 700

Μήκος κύματος του φωτός (nm).

Παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση της φωτοσύνθεσης

Έχουμε σίγουρα παρατηρήσει όλοι μας ότι ο ρυθμός ανάπτυξης των φυτών κατά τη διάρκεια του έτους δεν είναι ο ίδιος. Αυτό σημαίνει ότι η απόδοση της φωτοσύνθεσης, που την υπολογίζουμε μετρώντας το οξυγόνο που παράγεται στη μονάδα του χρόνου, μεταβάλλεται. Πράγματι, η φωτοσύνθεση επηρεάζεται από περιβαλλοντικούς παράγοντες, που δε μένουν σταθεροί στη διάρκεια του έτους. Οι κυριότεροι από αυτούς είναι:

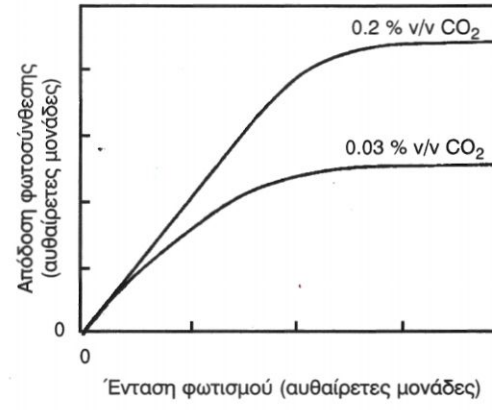
Η Θερμοκρασία: Η ταχύτητα της φωτοσύνθεσης επηρεάζεται από τη θερμοκρασία και αυτό είναι λογικό, γιατί η τελευταία επηρεάζει τη δράση των ενζύμων και φυσικά την ταχύτητα των ενζυμικών αντιδράσεων. Σε υψηλή και σταθερή ένταση φωτός, με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται και η απόδοση της φωτοσύνθεσης. Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 30°C, τα ένζυμα καταστρέφονται και η απόδοση της φωτοσύνθεσης μειώνεται.



Επίδραση της θερμοκρασίας στην απόδοση της φωτοσύνθεσης για υψηλή ένταση φωτός.

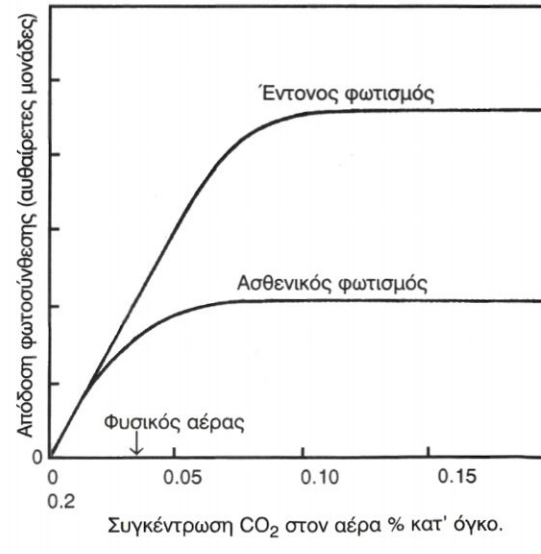
Για τα περισσότερα φυτά η άριστη θερμοκρασία για τη φωτοσύνθεση είναι γύρω στους 30°C. Ωστόσο υπάρχουν φυτά, όπως αυτά των ψυχρών περιοχών, που φωτοσυνθέτουν σε πολύ χαμηλότερες θερμοκρασίες από αυτές στις οποίες φωτοσυνθέτουν τα φυτά των θερμών περιοχών. Ορισμένα είδη φυτών φωτοσυνθέτουν σε θερμοκρασίες κάτω από τους 0°C, ενώ τα κυανοφύκη (μονοκύτταροι προκαρυωτικοί φωτοσυνθετικοί οργανισμοί) των θερμών πηγών μπορούν να φωτοσυνθέσουν και σε θερμοκρασίες πάνω από 75°C.

Το φως: Σε θερμοκρασία 20°C και κανονική συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (0,03% κατ' όγκο) στην ατμόσφαιρα η απόδοση της φωτοσύνθεσης αυξάνεται με την αύξηση της έντασης του φωτός. Αυτό γίνεται μέχρις ενός ορισμένου σημείου. Στη συνέχεια η απόδοση της φωτοσύνθεσης παραμένει σταθερή.



Επίδραση της έντασης του φωτός στην απόδοση της φωτοσύνθεσης για δύο διαφορετικές συγκεντρώσεις CO_2.

Το διοξείδιο του άνθρακα: Η απόδοση της φωτοσύνθεσης εξαρτάται και από τη συγκέντρωση του διοξειδίου του άνθρακα. Αυτό είναι φυσικό, αφού το διοξείδιο του άνθρακα συμμετέχει στις αντιδράσεις της σκοτεινής φάσης. Σε υψηλή ένταση φωτός και σταθερή θερμοκρασία η απόδοση της φωτοσύνθεσης αυξάνεται με την αύξηση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του άνθρακα του αέρα. Αυτό γίνεται μέχρις ενός σημείου και στη συνέχεια παραμένει σταθερή.



Επίδραση της συγκέντρωσης του CO_2 στην απόδοση της φωτοσύνθεσης, για διαφορετικές τιμές στην ένταση του φωτός.

Το νερό: Είναι δύσκολο να εκτιμήσουμε τις επιπτώσεις από την έλλειψη του νερού στις διάφορες κυτταρικές λειτουργίες ενός φυτού. Σε ό,τι αφορά τη φωτοσύνθεση, η ελάττωση της απόδοσης που παρατηρείται σε συνθήκες ξηρασίας οφείλεται όχι μόνο στην έλλειψη του νερού που θα πάρει μέρος στις αντιδράσεις της φωτεινής φάσης αλλά και στο κλείσιμο των στομάτων. Το φυτό κλείνει τα στόματα, για να εμποδίσει την απώλεια νερού μέσω της διαπνοής. Ταυτόχρονα όμως κλείνει την είσοδο και για το διοξείδιο του άνθρακα, που είναι απαραίτητο για τη σύνθεση των υδατανθράκων κατά τη σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης.

Τα ανόργανα άλατα: Τα φυτά δεν μπορούν να αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας μόνο διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Για να διατηρήσουν τη δομή και τη λειτουργικότητά τους, χρειάζονται και άλλα στοιχεία ή χημικές ενώσεις, που δεν παράγονται με τη φωτοσύνθεση. Για τη σύνθεση του μορίου της χλωροφύλλης, για παράδειγμα, είναι απαραίτητο το άζωτο και το μαγνήσιο. Όταν λοιπόν στο έδαφος στο οποίο αναπτύσσεται το φυτό υπάρχει έλλειψη αυτών των στοιχείων, τότε τα φύλλα του παραμένουν κίτρινα (χλώρωση), με συνέπεια η ταχύτητα της φωτοσύνθεσης να παραμένει χαμηλή

Η ΦΩΤΟΣΥΝΘΕΣΗ ΣΤΟΥΣ ΠΡΟΚΑΡΥΩΤΙΚΟΥΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥΣ

Φωτοσύνθεση, όπως ήδη αναφέρθηκε, γίνεται τόσο σε ορισμένα είδη βακτηρίων όσο και στα κυανοφύκη. Τα φωτοσυνθετικά βακτήρια χρησιμοποιούν μια άλλη κατηγορία χρωστικών, τις ***βακτηριοχλωροφύλλες****. Η πορεία της φωτοσύνθεσης σ' αυτούς τους οργανισμούς είναι πιο απλή από εκείνη των ανώτερων φυτών και φυκών και σ' αυτήν χρησιμοποιείται υδρόθειο αντί για νερό. Η γενική αντίδραση της φωτοσύνθεσης στους οργανισμούς αυτούς είναι:*

$$6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow{\text{φως, βακτηριοχλωροφύλλες}} C_6H_{12}O_6 + 12S + 6H_2O$$

Τα παραπάνω βακτήρια ζουν κυρίως στον πυθμένα λιμνών, γιατί εκεί υπάρχει άφθονο υδρόθειο, το οποίο σχηματίζεται από την αναερόβια αναπνοή άλλων βακτηρίων.
Τα κυανοφύκη φωτοσυνθέτουν όπως και τα ανώτερα φυτά.

Κυανοβακτήρια (είδος Nostoc).

ΜΗΠΩΣ ΑΠΟ ΚΑΤΙ ΑΝΑΛΟΓΟ ΧΑΘΗΚΑΝ ΟΙ ΔΕΙΝΟΣΑΥΡΟΙ;

Μπορείς να φανταστείς πώς θα ήταν το περιβάλλον μας ύστερα από την έκρηξη ενός τεράστιου ηφαιστείου ή τη σύγκρουση της Γης με ένα μετεωρίτη ή μετά από ένα πυρηνικό ολοκαύτωμα; Ένα σκοτεινό πέπλο θα σκέπαζε τη Γη, αφού θα εμποδίζονταν οι ηλιακές ακτίνες να φτάσουν σ' αυτήν. Η συσκότιση θα μπορούσε να διαρκέσει για μεγάλο χρονικό διάστημα, πράγμα που θα εμπόδιζε τη ροή ενέργειας προς τους οργανισμούς, αφού θα αδρανοποιούσε τη βάση της διαδικασίας, τη δέσμευση δηλαδή της ηλιακής ενέργειας από τους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς. Υπάρχει ήδη εμπειρία από μικρής έκτασης τέτοια φαινόμενα, που είτε είναι αποτέλεσμα ανθρώπινων παρεμβάσεων στο περιβάλλον είτε οφείλονται σε φυσικά φαινόμενα. Διαπιστώθηκε μάλιστα ότι είχαν σοβαρές συνέπειες και επηρέασαν άμεσα τη φυτική παραγωγή. Αυτό γίνεται περισσότερο κατανοητό, αν λάβουμε υπόψη ότι η μείωση, για παράδειγμα, της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος κατά 2° C, στη διάρκεια της περιόδου ανάπτυξης των σιτηρών, μειώνει δραστικά την παραγωγή τους. Το ίδιο βέβαια συμβαίνει και σε φυτά που δεν ενδιαφέρουν άμεσα τον άνθρωπο, αποτελούν όμως τροφή για άλλους ζωικούς οργανισμούς. Αυτό σε πολλές περιπτώσεις οδηγεί στη διαταραχή των τροφικών σχέσεων στα διάφορα οικοσυστήματα και, αν η μείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος διαρκέσει μερικά χρόνια, η όποια βελτίωση, στη συνέχεια, των περιβαλλοντικών συνθηκών θα είναι μάλλον ανώφελη για τη ζωή στον πλανήτη μας. Οι διαδικασίες δηλαδή καταστροφής των τροφικών αλυσίδων στη φωτοσυνθετική βάση τους, βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη. Ελπίζουμε ότι θα σταματήσει εγκαίρως.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Η φωτοσύνθεση γίνεται σε φυτά, φύκη και κάποιους μικροοργανισμούς. Πώς αυτή η διαδικασία μπορεί να επηρεάζει ένα σαρκοφάγο ζώο;

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Ποια μπορεί να ήταν η πηγή CO_2 για τους πρώτους φωτοσυνθετικούς οργανισμούς;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η φωτοσύνθεση είναι σημαντική μεταβολική διαδικασία, κατά την οποία η φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται σε χημική.

Η φωτοσύνθεση στα φυτά γίνεται στα πράσινα μέρη τους, που είναι τα φύλλα και ο βλαστός. Στην κάτω επιδερμίδα των φύλλων βρίσκονται τα στόματα, διαμέσου των οποίων εισέρχεται το ατμοσφαιρικό CO_2. Το H_2O εισέρχεται στις ρίζες και φτάνει στα φωτοσυνθετικά μέρη του φυτού μέσω των αγγείων.

Η δέσμευση της φωτεινής ενέργειας γίνεται από χρωστικές που βρίσκονται στα θυλακοειδή των χλωροπλαστών.

Η φωτοσύνθεση περιλαμβάνει δύο φάσεις, τη φωτεινή και τη σκοτεινή. Στη φωτεινή φάση, που γίνεται στα θυλακοειδή των χλωροπλαστών, φωτολύεται το H_2O και τα τελικά προϊόντα είναι NADPH, ATP και οξυγόνο. Στη σκοτεινή φάση, που γίνεται στο στρώμα του χλωροπλάστη, δεσμεύεται το ατμοσφαιρικό CO_2 και παράγονται τα σάκχαρα.

Διάφοροι παράγοντες, όπως η ποσότητα της χλωροφύλλης, η θερμοκρασία, το φως, το CO_2, το H_2O και η συγκέντρωση ανόργανων αλάτων, επηρεάζουν την απόδοση της φωτοσύνθεσης.

Φωτοσύνθεση γίνεται και σε ορισμένα είδη βακτηρίων και στα κυανοφύκη.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

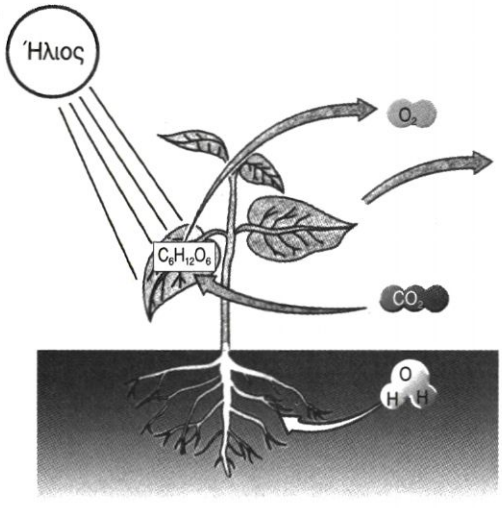
1. Να σημειώσετε δίπλα από κάθε αριθμό της πρώτης στήλης, το γράμμα που αντιστοιχεί από τη δεύτερη στήλη:

1.....Καροτενοειδή	α. Παράγεται στα grana του χλωροπλάστη.
2.....Γλυκόζη	β. Απορροφά ισχυρά την πράσινη ακτινοβολία.
3.....Οξυγόνο	γ. Είναι μόριο χλωροφύλλης α.
	δ. Παράγεται κατά τη σκοτεινή φάση της φωτοσύνθεσης.
	ε. Απορροφά την μπλε ακτινοβολία ισχυρά.

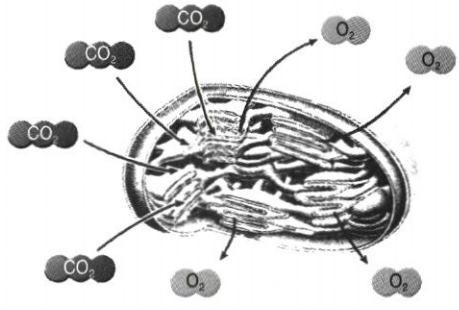
2. Ποιος είναι ο ρόλος του φωτός στη διαδικασία της φωτοσύνθεσης;

3. Περιγράψτε τη διαδικασία της οποίας στοιχεία αναφέρονται στην εικόνα που ακολουθεί: α) σε επίπεδο οργανισμού και β) σε κυτταρικό επίπεδο

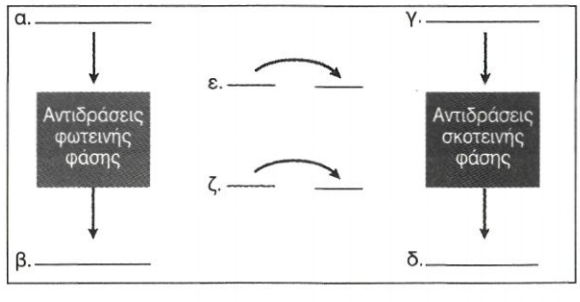
α.



β.



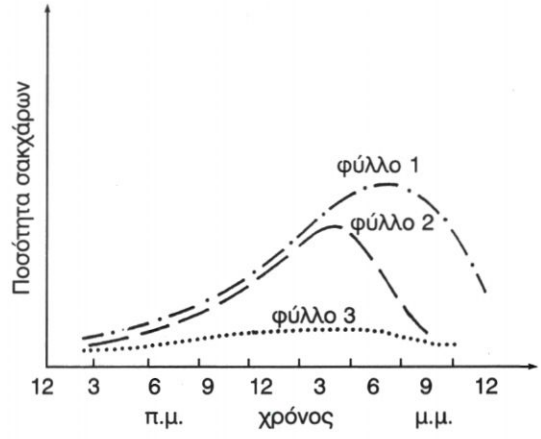
4. Τοποθετήστε τα στοιχεία που αναφέρονται στη συνέχεια πάνω στο διάγραμμα, ώστε να περιγράφεται σωστά η διαδικασία της φωτοσύνθεσης: CO_2, H_2O, O_2, $C_6H_{12}O_6$, ATP, ADP, NADP, NADPH.



5. Πώς μπορούμε να μετρήσουμε την απόδοση της φωτοσύνθεσης; Πώς αυτή επηρεάζεται από τους παράγοντες του φυσικού περιβάλλοντος; Σχεδιάστε απλά πειράματα με τα οποία μπορούν να επιβεβαιωθούν όσα υποστηρίζετε.

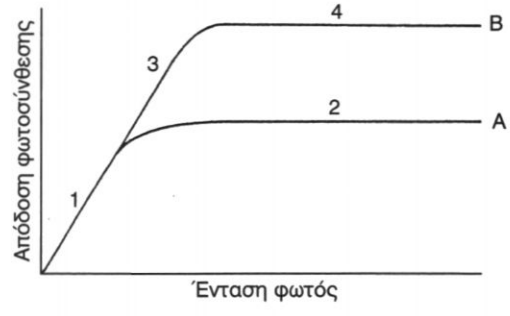
6. Σε δύο δοκιμαστικούς σωλήνες, που περιέχουν ίδια ποσότητα νερού, τοποθετούνται δύο ίδια φυτά, με τη ρίζα μέσα στο νερό. Στη συνέχεια το ένα φυτό εκτίθεται σε ερυθρό φως και το άλλο σε πράσινο. Τι θα συμβεί μετά την παρέλευση 24 ωρών; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

7. Δίνεται το παρακάτω διάγραμμα. Κάθε καμπύλη από τις 1, 2, 3 παριστάνει τη συγκέντρωση σακχάρων σε ένα διαφορετικό φύλλο. Αφού το μελετήσετε προσεκτικά, απαντήστε στην ερώτηση: Ποιό από τα πράσινα φύλλα δε δεχόταν φως; Σημειώστε τη σωστή απάντηση βάζοντας σε κύκλο το γράμμα που αντιστοιχεί σ' αυτήν.
α. 1, β. 2, γ. 3, δ. 1 και 2. Αιτιολογήστε την επιλογή σας.



8. Το κυανό της βρομοθυμόλης είναι μια χρωστική που παίρνει κίτρινο χρώμα παρουσία CO_2. Παίρνουμε δύο δοκιμαστικούς σωλήνες και βάζουμε και στους δύο διάλυμα χρωστικής. Τοποθετούμε στον καθέναν από τους σωλήνες από ένα υδρόβιο φυτό. Στη συνέχεια μεταφέρουμε τον ένα σωλήνα σε χώρο που φωτίζεται και τον άλλο σε χώρο σκοτεινό. Τι περιμένετε να συμβεί με την πάροδο του χρόνου; Αιτιολογήστε τη μεταβολή που περιμένετε να συμβεί.

9. Το διάγραμμα δείχνει το πώς επηρεάζεται η απόδοση της φωτοσύνθεσης από την ένταση του φωτός σε δυο διαφορετικές συγκεντρώσεις CO_2. Η καμπύλη Α αντιστοιχεί στη χαμηλή συγκέντρωση CO_2, ενώ η Β στην υψηλή συγκέντρωση:



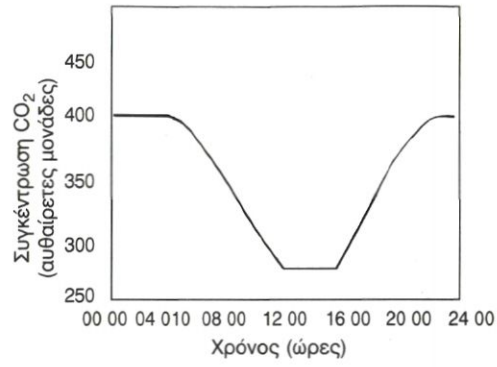
α. Ποιος παράγοντας επηρεάζει την απόδοση της φωτοσύνθεσης στις περιοχές 1, 2 και 3 του διαγράμματος;
β. Ποιος παράγοντας θα μπορούσε να επηρεάσει την απόδοση της φωτοσύνθεσης στη περιοχή 4; Πώς θα μπορούσατε να διαπιστώσετε ότι η απάντησή σας είναι σωστή;
γ. Σε ποια περίοδο της ημέρας θα περιμένατε η απόδοση της φωτοσύνθεσης να είναι μέγιστη;

10. Στον παρακάτω πίνακα τα αποτελέσματα του πειράματος δείχνουν την επίδραση της έντασης του φωτός στο υδρόβιο φυτό Elodea (η θερμοκρασία του πειράματος διατηρούνταν σταθερή και ίση με 20°C):

Ένταση φωτός (αυθαίρετες μονάδες) για κάθε 5 λεπτά)	Απόδοση φωτοσύνθεσης (αριθμός φυσαλίδων οξυγόνου)
0	0
10	7
20	14
30	22
40	29
50	38
60	43
70	45

α. Να γίνει η γραφική παράσταση της απόδοσης της φωτοσύνθεσης σε συνάρτηση με την ένταση του φωτός.
β. Ποιος θα είναι ο αριθμός των φυσαλίδων για ένταση φωτός 25 μονάδων;
γ. Αν αυξηθεί η ένταση του φωτός πάνω από 75 μονάδες, τι νομίζετε ότι θα συμβεί στην απόδοση της φωτοσύνθεσης;
δ. Εξηγήστε τι θα συνέβαινε, αν επαναλαμβανόταν το πείραμα σε θερμοκρασία 30°C.
ε. Ποια θεωρείτε ότι είναι η σημασία του υδρόβιου αυτού φυτού;

11. Δίνεται η παρακάτω γραφική παράσταση, η οποία δείχνει τις μεταβολές στη συγκέντρωση του CO_2 σ' ένα χωράφι με γρασίδι κατά τη διάρκεια ενός θερμού καλοκαιρινού 24ώρου.



α. Πώς εξηγείται η ελάττωση στη συγκέντρωση του CO_2 μεταξύ των ωρών 04:00 π.μ. και 12:00 το μεσημέρι;
β. Σε ποιο μέρος του χλωροπλάστη γίνεται η δέσμευση του CO_2;

ΑΣ ΕΡΕΥΝΗΣΟΥΜΕ...

1. Συλλέξτε δείγματα από μερικά είδη μικρών φυτών που φύονται σε φωτεινά μέρη και μερικά είδη που ζουν σε σκιώδεις περιοχές. Προσπαθήστε να προσδιορίσετε αν υπάρχει σημαντική διαφορά, σε ό,τι αφορά τον αριθμό των χλωροπλαστών ανά κύτταρο, στα φυτά των δύο ομάδων.

2. Φανταστείτε ότι συμμετέχετε σε μια ερευνητική ομάδα που πρόκειται να εποικίσει έναν άγνωστο πλανήτη. Στις προθέσεις σας είναι να εγκαταστήσετε ένα ελεγχόμενο «κλειστό» οικοσύστημα (δηλαδή οικοσύστημα στο οποίο η ζωή στηρίζεται στα φυτά και στην αξιοποίηση του φωτός ως μόνης πηγής ενέργειας). Χρησιμοποιήστε τις γνώσεις σας σχετικά με τη φωτοσύνθεση, για να εξηγήσετε το πώς θα μπορούσε να λειτουργήσει αυτό το οικοσύστημα. Αναφερθείτε στο είδος των σχέσεων που θα αναπτυχθούν ανάμεσα στους οργανισμούς τους οποίους, προφανώς, θα μεταφέρετε από τη Γη στον άγνωστο πλανήτη. Ενημερώστε για όλα αυτά τους υπόλοιπους συμμαθητές σας, οι οποίοι δε θα έχουν την τύχη να «συμμετέχουν» σ' αυτή την αποστολή.

3. Το χειμώνα, όταν αναπτύσσουμε λουλούδια και λαχανικά σε θερμοκήπια, παρατηρούμε ότι ο ρυθμός ανάπτυξής τους αυξάνεται, με την αύξηση των επιπέδων του CO_2, κατά δύο ή τρεις φορές σε σχέση με αυτά του φυσικού περιβάλλοντος. Μπορείτε να προσδιορίσετε τη βιολογική βάση αυτού του φαινομένου και να περιγράψετε τον τρόπο λειτουργίας ενός θερμοκηπίου, με στόχο την πλήρη αξιοποίηση των δυνατοτήτων που παρέχει στον καλλιεργητή; Γράψτε μια έκθεση για την πορεία της εργασίας σας, στην οποία θα αναφέρεστε στα δεδομένα που είχατε, τις υποθέσεις που κάνατε, τα θέματα που ερευνήσατε και τον τρόπο με τον οποίο έγινε αυτό. Τέλος, καταγράψτε τα συμπεράσματά σας.

3.4 ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΑΝΑΠΝΟΗ

Ο πίθηκος της εικόνας φαίνεται ευχαριστημένος από το γεύμα του και σίγουρα δεν τον απασχολεί η τύχη της μπουκιάς που καταπίνει. Ίσως δεν έχει άδικο, γιατί η τύχη της είναι έτσι κι αλλιώς προκαθορισμένη.
Η τροφή, από τη στιγμή που θα εισαχθεί στο πεπτικό σύστημα, αρχίζει να διασπάται σταδιακά. Οι ουσίες μεγάλου μοριακού βάρους που την αποτελούν (πρωτεΐνες, υδατάνθρακες, λιπίδια, νουκλεϊνικά οξέα) διασπώνται σε απλούστερες (αμινοξέα, απλά σάκχαρα, λιπαρά οξέα και γλυκερόλη, νουκλεοτίδια), που έχουν τη δυνατότητα, με τη βοήθεια του κυκλοφορικού ή του λεμφικού συστήματος, να φτάνουν στους ιστούς. Θα πρέπει να σημειώσουμε ότι η διάσπαση των πολύπλοκων οργανικών ουσιών σε απλούστερες (πέψη) δεν αποδίδει ενέργεια με τη μορφή ATP για τον οργανισμό.

Σε κάθε κύτταρο (φυτικό ή ζωικό) οι απλές ουσίες, που προέρχονται από τη διάσπαση των μεγαλομοριακών ενώσεων, αξιοποιούνται με δύο τρόπους. Είτε χρησιμοποιούνται πάλι για τη σύνθεση νέων μεγαλομοριακών ενώσεων, που είναι απαραίτητες ως δομικά ή λειτουργικά συστατικά του συγκεκριμένου κυττάρου, είτε οξειδώνονται, αποδίδοντας σταδιακά χημική ενέργεια μέσω μιας διαδικασίας που ονομάζεται **κυτταρική αναπνοή**. Συχνά αυτές οι αντιδράσεις οξείδωσης για την παραγωγή ενέργειας τροφοδοτούνται με χημικές ουσίες που προέχονται από συστατικά του κυττάρου, κατά προτίμηση πολύ χρησιμοποιημένα. Όσα δηλαδή από τα μακρομόρια του κυττάρου έχουν χρησιμοποιηθεί επανειλημμένα, για παράδειγμα τα ένζυμα, διασπώνται. Οι απλούστερες ενώσεις, που προκύπτουν από τη διάσπασή τους (στην περίπτωση αυτή τα αμινοξέα), αξιοποιούνται από το κύτταρο, είτε για την παραγωγή ενέργειας είτε για την παραγωγή νέων μακρομορίων. Το κύτταρο δηλαδή «δεν αφήνει να πάει τίποτα χαμένο»...!
Ένα μέρος της ενέργειας που παράγεται κατά τις αντιδράσεις οξείδωσης ελευθερώνεται ως θερμότητα και δεν μπορεί να αξιοποιηθεί για τις διάφορες κυτταρικές λειτουργίες. Το υπόλοιπο ποσό ενέργειας διατίθεται στα κύτταρα με τη μορφή ATP. Η κυτταρική αναπνοή μπορεί να γίνεται με τη βοήθεια οξυγόνου (οξειδωτικό), οπότε λέγεται **αερόβια αναπνοή**, ή χωρίς οξυγόνο και λέγεται **αναερόβια αναπνοή**.

Το κύτταρο παράγει ενέργεια διασπώντας συνήθως υδατάνθρακες ή λίπη. Όταν όμως υπάρχει ανάγκη, μπορεί να παράγει ενέργεια και από τη διάσπαση πρωτεϊνών.

Παραγωγή ενέργειας από τη διάσπαση υδατανθράκων (γλυκόζη)

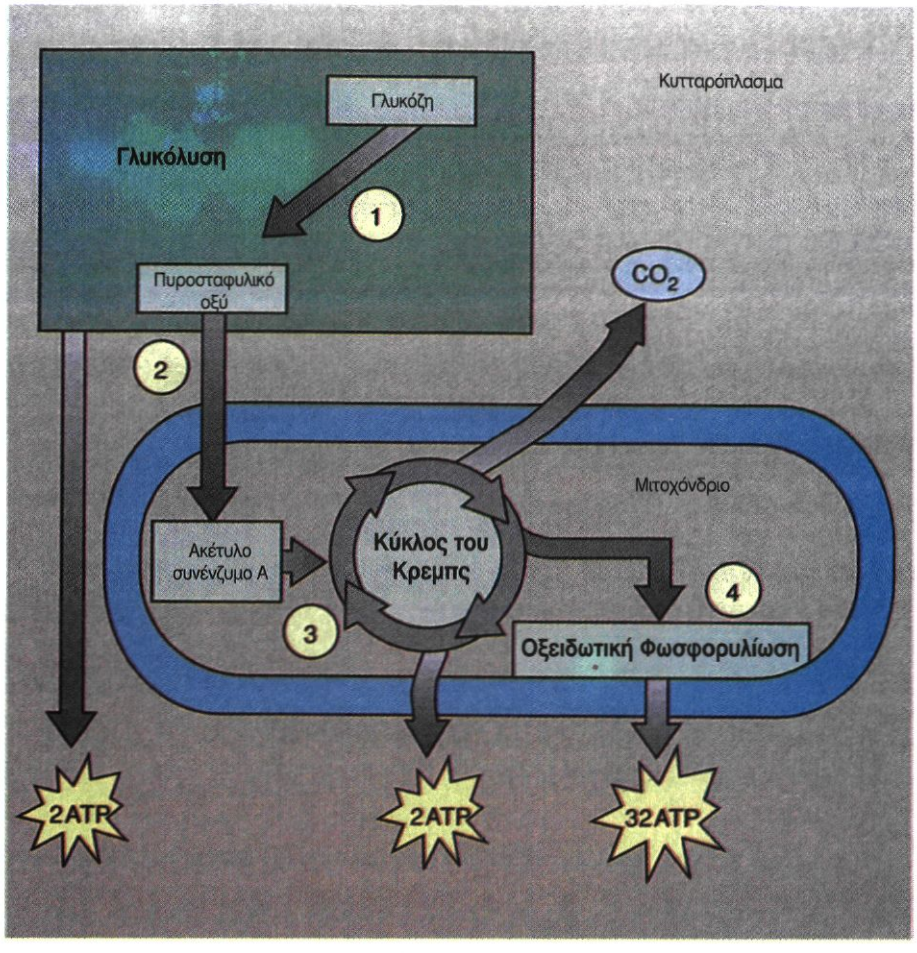
Η διάσπαση της γλυκόζης περιλαμβάνει τρεις διαδικασίες: τη γλυκόλυση, τον κύκλο του κιτρικού οξέος ή κύκλο του Κρεμπς (Krebs) και την οξειδωτική φωσφορυλίωση.

Γλυκόλυση

Η **γλυκόλυση** (γλυκός + λύσις) είναι πολύ σημαντική μεταβολική οδός και αποτελεί το πρώτο στάδιο για τη διάσπαση της γλυκόζης. Γίνεται στο κυτταρόπλασμα χωρίς τη χρησιμοποίηση οξυγόνου.
Στο στάδιο αυτό ένα μόριο γλυκόζης (3C) διασπάται αρχικά σε δύο μόρια τριοζών (υδατάνθρακες με τρία άτομα άνθρακα). Στη συνέχεια αυτές μετατρέπονται σε δύο μόρια πυροσταφυλικού οξέος (3C). Το κέρδος του κυττάρου σε ενέργεια από τη διαδικασία αυτή είναι δύο μόρια ATP.
Η τύχη του πυροσταφυλικού οξέος από εδώ και πέρα εξαρτάται από την παρουσία ή όχι οξυγόνου στο περιβάλλον του κυττάρου, αλλά και από τη δυνατότητα του κυττάρου να το χρησιμοποιήσει.
Αν η διαδικασία γίνεται παρουσία οξυγόνου, το πυροσταφυλικό οξύ εισέρχεται στο μιτοχόνδριο και εκεί οξειδώνεται πλήρως προς διοξείδιο του άνθρακα και νερό **(αερόβια αναπνοή)**. Αν δεν υπάρχει οξυγόνο **(αναερόβια αναπνοή)**, το πυροσταφυλικό οξύ μετατρέπεται, ανάλογα με το είδος του κυττάρου, σε αιθυλική αλκοόλη και διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) ή σε γαλακτικό οξύ.

Αερόβια αναπνοή

Στην αερόβια αναπνοή η πλήρης οξείδωση του πυροσταφυλικού οξέος, που έχει παραχθεί κατά τη γλυκόλυση, γίνεται σε δύο στάδια: τον **κύκλο του κιτρικού οξέος** ή **κύκλο του Krebs** και την **οξειδωτική φωσφορυλίωση**.



Η ενεργειακή απόδοση από την πλήρη οξείδωση ενός μορίου γλυκόζης είναι 36 ATP.

Κύκλος του κιτρικού οξέος: Ο κύκλος του κιτρικού οξέος ή κύκλος του Krebs περιλαμβάνει μια σειρά αντιδράσεων που γίνονται στη μήτρα των μιτοχονδρίων, χωρίς να χρησιμοποιείται οξυγόνο.
Το πυροσταφυλικό οξύ, που είχε παραχθεί από τη γλυκόλυση, μετατρέπεται σε **ακετυλο-συνένζυμο Α** και με τη μορφή αυτή εισέρχεται στον κύκλο του κιτρικού οξέος. Κατά τη μετατροπή αυτή παράγεται και CO_2.
Από το ακετυλο-συνένζυμο Α που μπαίνει στον κύκλο του κιτρικού οξέος, μεταξύ άλλων, σχηματίζονται ATP, και CO_2. Το κέρδος σε ενέργεια από τη διάσπαση κάθε αρχικού μορίου γλυκόζης, σ' αυτό το στάδιο, είναι δύο μόρια ATP.

Οξειδωτική φωσφορυλίωση: Οι αντιδράσεις της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης γίνονται στις αναδιπλώσεις της εσωτερικής μεμβράνης του μιτοχονδρίου και για τη διεξαγωγή τους χρησιμοποιείται οξυγόνο. Κατά την πραγματοποίηση αυτών των αντιδράσεων γίνεται απελευθέρωση ενέργειας, μέρος της οποίας χρησιμοποιείται για την παραγωγή 32 μορίων ATP από ADP + Pi.
Στα τελικά προϊόντα αυτής της διαδικασίας περιλαμβάνεται και H_2O.

Τελικά, από την πλήρη οξείδωση ενός μορίου γλυκόζης σε διοξείδιο του άνθρακα και νερό παράγονται συνολικά 36 μόρια ATP. Η γενική εξίσωση της κυτταρικής αναπνοής είναι:

$$C_6H_{12}O_6+6O_2+6H_2O \longrightarrow 6CO_2 + 12H_2O + E$$

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Ποια είναι η σχέση ανάμεσα στην πέψη των τροφών και την κυτταρική αναπνοή;

Έλεγχος της αερόβιας κυτταρικής αναπνοής

Οι αντιδράσεις της κυτταρικής αναπνοής θα μπορούσαν να επαναλαμβάνονται συνεχώς, ώσπου να καταναλωθούν όλα τα μόρια που αποτελούν αποθήκες ενέργειας για τον οργανισμό. Δε συμβαίνει όμως έτσι. Υπάρχει ένας μηχανισμός που ελέγχει τη διεξαγωγή αυτών των αντιδράσεων, ανάλογα με τις ανάγκες του οργανισμού. Για παράδειγμα, όταν από την κυτταρική αναπνοή παραχθούν πολλά ATP, χωρίς να χρειάζεται όλη αυτή την ενέργεια το κύτταρο, τότε αναστέλλεται η δράση ενός από τα ένζυμα που εξυπηρετούν τη διαδικασία της γλυκόλυσης. Διακόπτεται έτσι η διάσπαση των σακχάρων. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται αμέσως, μόλις ελαττωθεί η συγκέντρωση μορίων ATP. Θα πρέπει να σημειωθεί επίσης ότι οι αντιδράσεις του κύκλου του κιτρικού οξέος, παρά το ότι δε χρησιμοποιούν οξυγόνο, δε γίνονται σε αναερόβιες συνθήκες. Αυτό συμβαίνει, γιατί διαφορετικά τα προϊόντα τους θα συσσωρεύονταν στο κύτταρο, ενώ πρέπει να καταναλώνονται, και η κατανάλωσή τους γίνεται μόνο μέσω των αντιδράσεων της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης για τις οποίες είναι απαραίτητο το οξυγόνο.

Η «ΔΙΑΚΟΠΗ» ΤΗΣ ΑΝΑΠΝΕΥΣΤΙΚΗΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ

Υπάρχουν χημικές ουσίες που μπορούν να διακόψουν την εξέλιξη της πορείας της αναπνευστικής αλυσίδας σε ορισμένους τύπους ζωικών κυττάρων, εμποδίζοντας τη μεταφορά των ηλεκτρονίων. Αυτό μπορεί να αποβεί μοιραίο για τη ζωή των οργανισμών.

Η κυανιδίνη είναι μια από τις ουσίες αυτές. Έχει την ιδιότητα να συνδέεται με το φορέα που μεταφέρει απευθείας τα ηλεκτρόνια στο οξυγόνο, εμποδίζοντας έτσι τη δράση του και φυσικά τη διαδικασία παραγωγής της ενέργειας που είναι απαραίτητη για το κύτταρο. Αποτελεί επομένως ένα κυτταρικό δηλητήριο.

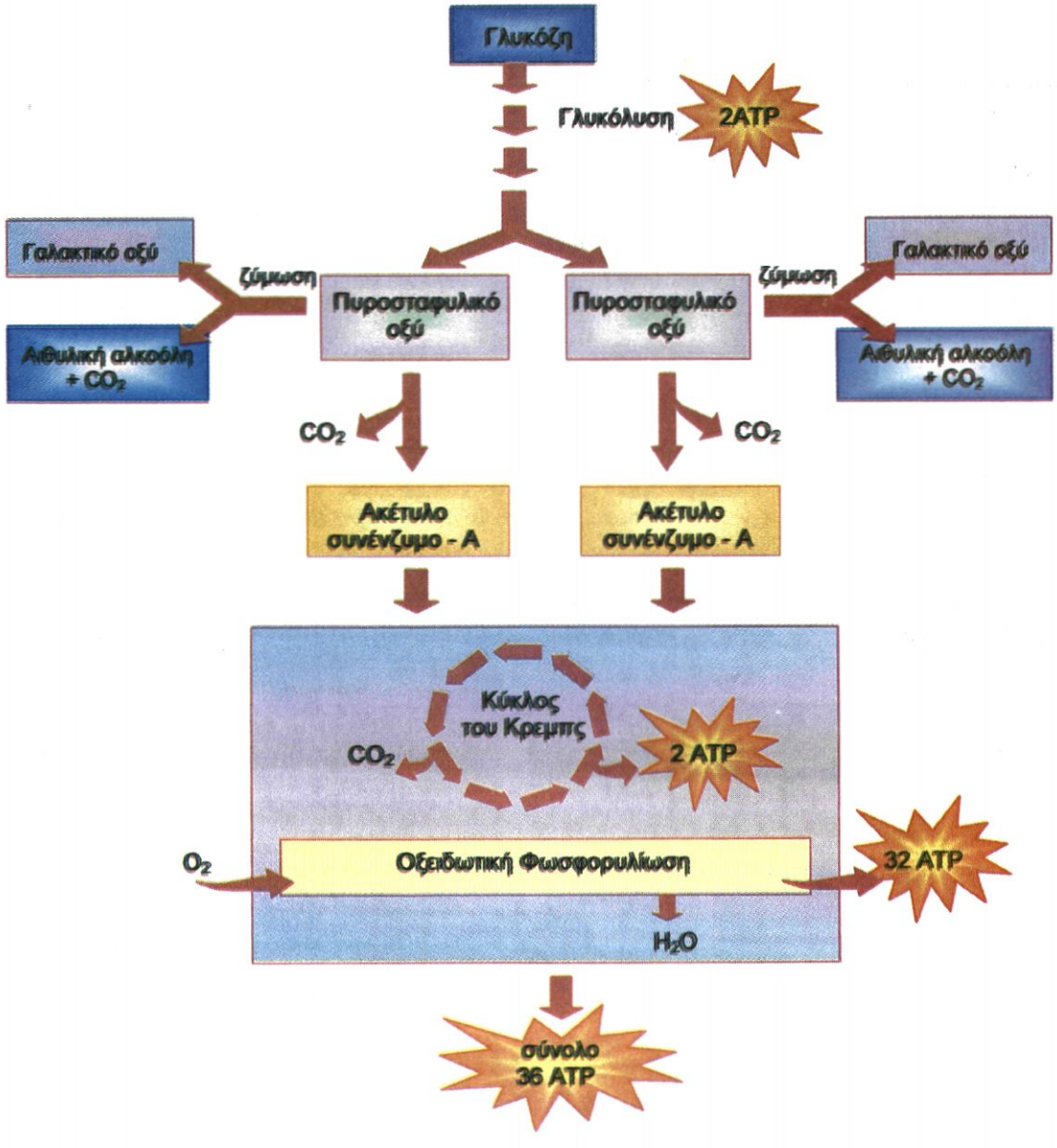
Ένα άλλο κυτταρικό δηλητήριο είναι η 2, 4 - δινιτροφαινόλη (DNP), η οποία, μεταβάλλοντας τη διαπερατότητα της εσωτερικής μεμβράνης των μιτοχονδρίων στα πρωτόνια, εμποδίζει τελικά το σχηματισμό ATP. Έτσι η ενέργεια που παράγεται, αντί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ATP, μετατρέπεται σε θερμότητα. Το ζώο υποφέρει από την αύξηση της θερμοκρασίας του, εμφανίζει ναυτία, τάση για εμετό και τελικά καταρρέει και πεθαίνει. Το DNP χρησιμοποιείται από τη βιομηχανία χρωμάτων ως συντηρητικό ξύλου και ως εντομοκτόνο.

Υπάρχουν ωστόσο ουσίες που παρουσιάζουν παρόμοια δράση και που βρίσκονται φυσιολογικά σε κύτταρα ορισμένων ζώων, χωρίς να προκαλούν βλάβη. Συνήθως τα ζώα αυτά ανήκουν στην κατηγορία εκείνων που πέφτουν σε χειμέρια νάρκη, για να επιβιώσουν στις χαμηλές θερμοκρασίες του χειμώνα. Σε ειδικά κύτταρα αυτών των ζώων υπάρχει μια πρωτεΐνη (θερμογενίνη), η οποία εμποδίζει τη σύνθεση ATP. Η ενέργεια που φυσιολογικά θα έδινε ATP ελευθερώνεται ως θερμότητα. Αυτό ακριβώς χρειάζεται και το ζώο που έχει πέσει σε χειμέρια νάρκη. Να διατηρήσει τη θερμοκρασία του σώματός του σε ένα επίπεδο τέτοιο, που θα του επιτρέψει να επιβιώσει έως την άνοιξη. Ένα από τα ζώα που αξιοποιούν αυτή τη διαδικασία είναι η αρκούδα.

Αναερόβια αναπνοή

Μια μεγάλη ποικιλία μικροοργανισμών οξειδώνουν τη γλυκόζη για την παραγωγή ATP χωρίς την παρουσία οξυγόνου. Κάνουν δηλαδή αναερόβια αναπνοή. Υπάρχουν βέβαια και κύτταρα πολυκύτταρων οργανισμών, που περιστασιακά, όταν είναι αναγκασμένα να παράγουν ενέργεια και δεν υπάρχει αρκετό οξυγόνο στο περιβάλλον τους, κάνουν επίσης αναερόβια αναπνοή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελούν τα μυϊκά κύτταρα.

Οι πιο γνωστές περιπτώσεις αναερόβιας αναπνοής είναι η **αλκοολική** και η **γαλακτική ζύμωση**. Και στις δύο περιπτώσεις ένα μόριο γλυκόζης, μέσω της γλυκόλυσης, διασπάται σε δύο μόρια πυροσταφυλικού οξέος, με απόδοση δύο μορίων ATP, όπως γίνεται και κατά την αερόβια αναπνοή. Στη συνέχεια, τα δύο μόρια του πυροσταφυλικού οξέος, μετατρέπονται είτε σε δύο μόρια αιθυλικής αλκοόλης και δύο μόρια διοξειδίου του άνθρακα (**αλκοολική ζύμωση**), είτε σε δύο μόρια γαλακτικού οξέος (**γαλακτική ζύμωση**).



Η **αλκοολική ζύμωση** γίνεται κυρίως στις **ζύμες** (μονοκύτταροι οργανισμοί που ανήκουν στους μύκητες). Γίνεται όμως και σε τμήματα φυτών, όπως στο εσωτερικό των κονδύλων της πατάτας, όπου δε φτάνει οξυγόνο ή αυτό βρίσκεται σε πολύ μικρή συγκέντρωση. Σε εφαρμογές της αλκοολικής ζύμωσης στηρίζεται η παραγωγή μπίρας, κρασιού και άρτου.

Για την παραγωγή μπίρας χρησιμοποιούνται τα σπέρματα σιτηρών (π.χ. βύνης), το άμυλο των οποίων υδρολύεται αρχικά προς ζυμώσιμα σάκχαρα, όπως η γλυκόζη.

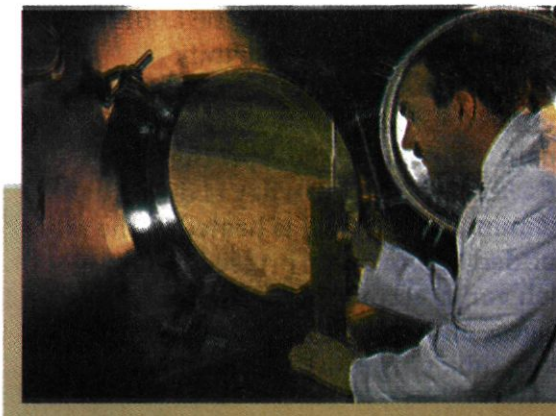
Για την παραγωγή του κρασιού χρησιμοποιούνται σάκχαρα που υπάρχουν στο χυμό των σταφυλιών. Στη συνέχεια ακολουθεί ζύμωση με τη δράση των ζυμών, αποτέλεσμα της οποίας είναι ο σχηματισμός αιθυλικής αλκοόλης. Όταν η συγκέντρωση της αιθυλικής αλκοόλης φτάσει το 12% περίπου, αυτή γίνεται τοξική για τα κύτταρα των ζυμών και τα θανατώνει. Η ζύμωση πλέον σταματά και το κρασί είναι έτοιμο.

Για την παρασκευή του ψωμιού το βρεγμένο αλεύρι αναμειγνύεται με ένα υλικό που περιέχει ζυμομύκητες (ονομάζεται ζύμη ή μαγιά) και αφήνεται σε ζεστό μέρος για αρκετές ώρες. Με τη ζύμωση των σακχάρων ελευθερώνεται διοξείδιο του άνθρακα, το οποίο προσπαθώντας να διαφύγει από την αρτόμαζα προκαλεί το φούσκωμά της.

Αρτόμαζα (α) πριν και (β) μετά το φούσκωμα.

Η **γαλακτική ζύμωση** γίνεται σε μικροοργανισμούς (βακτήρια) αλλά, όπως ήδη αναφέρθηκε, και σε κύτταρα ανώτερων οργανισμών (π.χ. μυϊκά), όταν η διαθέσιμη ποσότητα οξυγόνου στο περιβάλλον τους είναι περιορισμένη.

Η παρασκευή των κυριότερων προϊόντων του γάλακτος, όπως η γιαούρτη και το τυρί, γίνονται με τη συμμετοχή μικροοργανισμών που κάνουν γαλακτική ζύμωση.



Ζύμωση μπύρας.

ΖΥΜΩΣΕΙΣ...ΜΙΑ ΠΑΛΙΑ ΙΣΤΟΡΙΑ

Η γνωριμία του ανθρώπου με φαινόμενα που έχουν σχέση με διαδικασίες ζύμωσης είναι πολύ παλιά. Οι ζυμώσεις χρησιμοποιήθηκαν εδώ και πάρα πολλά χρόνια για την παραγωγή κρασιών, τυριών, γιαούρτης, ψωμιού κ.ά. Μια ανακάλυψη-κλειδί σχετικά με τις ζυμώσεις έγινε σχεδόν τυχαία το 1897 από τους Γερμανούς Χ. Μπούχνερ και Ε. Μπούχνερ. Οι Μπούχνερ ενδιαφέρονταν να παρασκευάσουν εκχυλίσματα ζύμης, ελεύθερα κυττάρων, για πιθανές θεραπευτικές χρήσεις. Αυτά τα εκχυλίσματα έπρεπε να συντηρηθούν χωρίς την προσθήκη αντισηπτικών, όπως η φαινόλη, και γι' αυτό αποφάσισαν να προσθέσουν ζάχαρη, ένα συντηρητικό κοινό στην καθημερινή χημική πρακτική.

Το αποτέλεσμα ήταν μια έκπληξη. Η ζάχαρη, ύστερα από γρήγορη ζύμωση, μετατράπηκε σε αλκοόλη χωρίς την παρουσία ζυμών, αλλά από το εκχύλισμα της ζύμης. Η σημασία αυτής της ανακάλυψης ήταν κεφαλαιώδης. Οι Μπούχνερ απέδειξαν για πρώτη φορά ότι η ζύμωση είναι δυνατόν να λάβει χώρα και έξω από τα ζωντανά κύτταρα. Η κυρίαρχη ιδέα ως εκείνη την εποχή, που είχε υποστηριχτεί και από τον Παστέρ το 1860, ήθελε τη ζύμωση αναπόσπαστα συνδεδεμένη με τα ζωντανά κύτταρα.

Η ΠΥΓΟΛΑΜΠΙΔΑ ΚΑΙ Ο ΒΙΟΦΩΤΙΣΜΟΣ

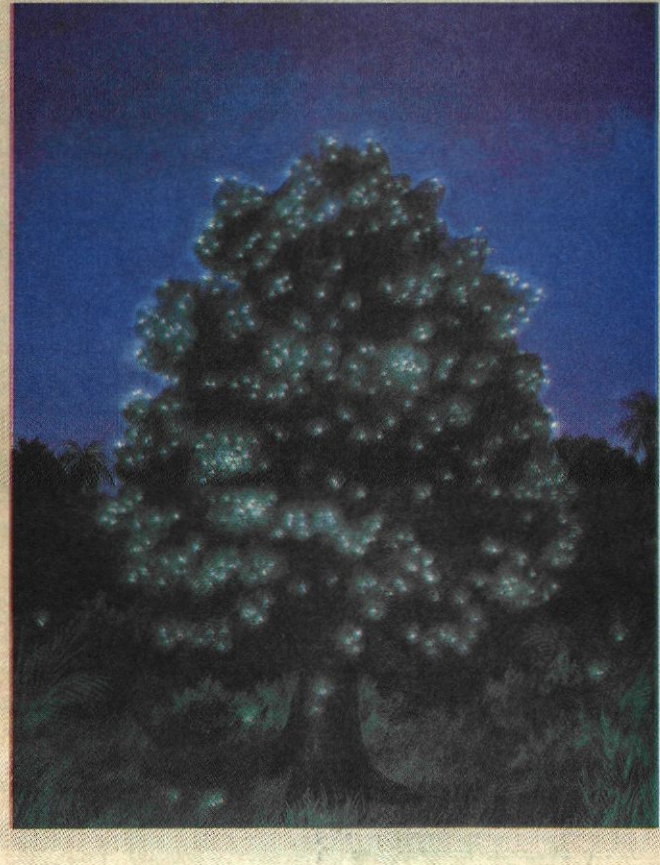
Με τη φωτοσύνθεση η φωτεινή ενέργεια μετατρέπεται σε χημική, για να χρησιμοποιηθεί για τις ανάγκες του οργανισμού. Σε κάποιους όμως οργανισμούς, όπως η πυγολαμπίδα, ένα μέρος αυτής της χημικής ενέργειας ακολουθεί στη συνέχεια την αντίστροφη πορεία. Μετατρέπεται δηλαδή ξανά σε φωτεινή ενέργεια, με μια διαδικασία που ονομάζεται ***βιοφωτισμός****.*

Το καλοκαίρι στην εξοχή γινόμαστε συχνά μάρτυρες του φαινομένου του βιοφωτισμού, συναντώντας τη νύχτα πυγολαμπίδες με την έντονα φωτισμένη κοιλιά τους. Η εκπομπή ακτινοβολίας δεν είναι σταθερή. Συνήθως διακόπτεται και ξαναρχίζει με συγκεκριμένο ρυθμό, δημιουργώντας κάτι σαν φωτεινά σήματα. Υπάρχουν περισσότερα από 1.900 γνωστά είδη πυγολαμπίδων και το καθένα χρησιμοποιεί το δικό του, ξεχωριστό ρυθμό στα φωτεινά σήματα. Τα σήματα εκπέμπονται συνήθως, για να προκληθεί ο ερωτικός τους σύντροφος. Τα αρσενικά, που έχουν και την ικανότητα να πετούν, φαίνεται να έχουν και την πρωτοβουλία των κινήσεων με την εκπομπή συγκεκριμένων φωτεινών μηνυμάτων. Τα θηλυκά, που δεν έχουν φτερά και συνήθως βρίσκονται πάνω σε φύλλα δέντρων, ανταποκρίνονται ανάλογα στο κάλεσμα των αρσενικών με τα δικά τους φωτεινά μηνύματα. Ενδιαφέρον είναι ότι σε ένα είδος πυγολαμπίδας (Photutis versicolor) το θηλυκό, κάποιες φορές, εκπέμπει ερωτικά φωτεινά μηνύματα με ρυθμό που χαρακτηρίζει άλλο είδος. Στη συνέχεια, όταν την πλησιάσει ο δυστυχής αρσενικός του άλλου είδους, αυτή τον τρώει!

Η φωτεινή ακτινοβολία που εκπέμπεται από τις πυγολαμπίδες είναι πολύ έντονη. Χαρακτηριστικό είναι ότι κάποια είδη βατράχων, που θεωρούν τις πυγολαμπίδες εκλεκτό μεζέ, όταν φάνε πολλές από αυτές μαζεμένες, τελικά «λάμπουν» και οι ίδιοι.

Σήμερα γνωρίζουμε αρκετά καλά τη βιοχημική διαδικασία του βιοφωτισμού. Παραμένει ωστόσο μυστήριο ο τρόπος με τον οποίο τα ζώα τον χρησιμοποιούν. Είναι χαρακτηριστικό αυτό που γίνεται σε ορισμένες περιοχές με τη συγκέντρωση πυγολαμπίδων τη νύχτα πάνω σε δέντρα. Όταν πέφτει η νύχτα, μια πυγολαμπίδα, μετά άλλη και πολλές στη συνέχεια συγκεντρώνονται στα κλαδιά ενός δέντρου, το οποίο πολύ γρήγορα μοιάζει να λάμπει. Λίγο αργότερα οι πυγολαμπίδες συγχρονίζονται και αρχίζουν να αναβοσβήνουν τα «φωτάκια τους» με τον ίδιο ρυθμό, κάνοντας το δέντρο να μοιάζει πραγματικά με χριστουγεννιάτικο.

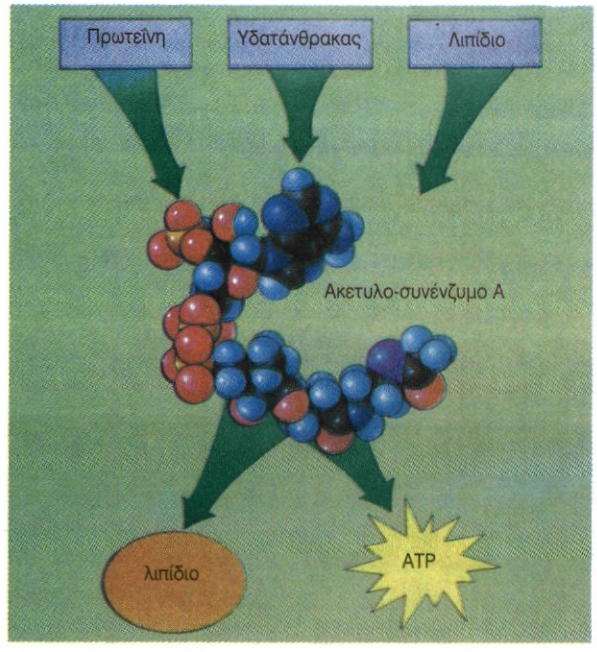
Το φαινόμενο είναι ενδιαφέρον και η ερμηνεία του δύσκολη. Οι βιολόγοι που ασχολούνται με τη συμπεριφορά των ζώων ζήτησαν τη βοήθεια μαθηματικών για τη μελέτη και τον προσδιορισμό του «τι λένε» ή «τι κάνουν» οι πυγολαμπίδες, όταν συγχρονίζουν την εκπομπή της ακτινοβολίας τους...



Παραγωγή ενέργειας από τη διάσπαση λιπιδίων και πρωτεϊνών

Η κυτταρική αναπνοή, όπως ήδη γνωρίζουμε, είναι μία διαδικασία οξείδωσης οργανικών ουσιών, από την οποία το κύτταρο εξασφαλίζει ενέργεια. Αναφερθήκαμε στην παραγωγή ενέργειας από την οξείδωση των υδατανθράκων. Είναι οι ουσίες στις οποίες πρώτα ανατρέχει το κύτταρο, αν υπάρχουν τέτοιες στη διάθεσή του. Επόμενα στη σειρά «προτίμησής» του έρχονται τα ουδέτερα λίπη, που αρχικά διασπώνται σε γλυκερόλη και λιπαρά οξέα. Τα λιπαρά οξέα είναι μόρια πλούσια σε ενέργεια και γι' αυτό κάποια κύτταρα, όπως, για παράδειγμα, τα κύτταρα των σκελετικών μυών, εξασφαλίζουν από τα μόρια αυτά – και κάτω από φυσιολογικές συνθήκες – ένα μέρος της ενέργειας που τους είναι απαραίτητη.

Οι πρωτεΐνες, από τις οποίες επίσης μπορεί να πάρει ενέργεια το κύτταρο, έχουν έναν πολύ σημαντικό για τη ζωή του κυττάρου, δομικό και λειτουργικό ρόλο. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ενέργειας, μόνο αν δεν υπάρχουν καθόλου σάκχαρα ή λιπίδια, όπως, για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια μακρόχρονης ασιτίας. Οι πρωτεΐνες υδρολύονται αρχικά σε αμινοξέα και στη συνέχεια απομακρύνονται οι αμινομάδες. Το υπόλοιπο μέρος του μορίου μπορεί να εισέλθει στον κύκλο του κιτρικού οξέος (Κρεμπς) ή να μετατραπεί πρώτα σε λιπαρό οξύ ή σε πυροσταφυλικό οξύ ή σε ακετυλο- συνένζυμο Α και στη συνέχεια να ακολουθήσει η οξείδωσή του.

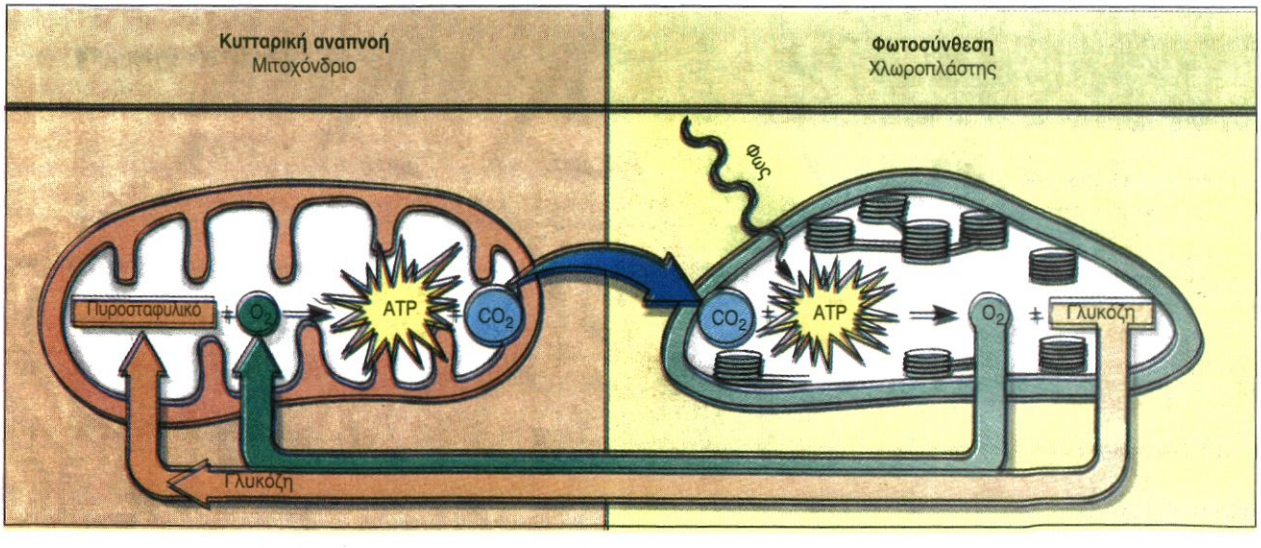


Σχεδόν όλες οι ουσίες που παίρνουμε με την τροφή μας μπορούν, κατά το μεταβολισμό, να μετατραπούν σε ακετυλο-συνένζυμο Α. Το μόριο αυτό, στη συνέχεια, είτε θα χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση λιπιδίου είτε θα μπει στον κύκλο του κιτρικού οξέος, για να παραχθεί ενέργεια. Το τι θα επιλεγεί καθορίζεται κάθε φορά ανάλογα με τις ανάγκες του οργανισμού.

Σχέση φωτοσύνθεσης και κυτταρικής αναπνοής

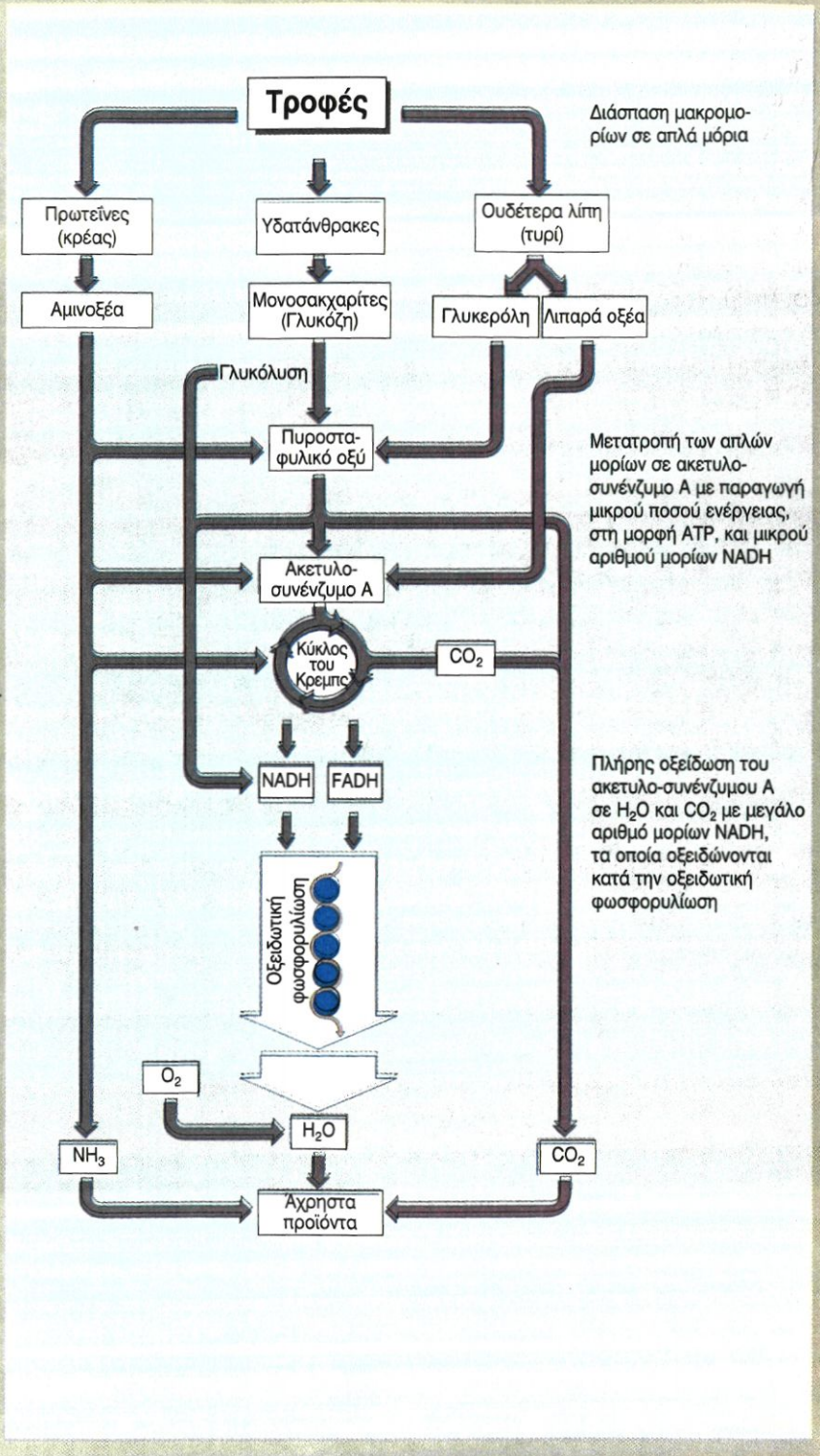
Όπως είδαμε, σε ό,τι αφορά τους υδατάνθρακες, η κυτταρική αναπνοή ως μεταβολική πορεία είναι αντίστροφη της φωτοσύνθεσης. Η ισορροπία ανάμεσα σ' αυτές τις δύο διαδικασίες διατηρεί την ισορροπία ανάμεσα στο διοξείδιο του άνθρακα και στο οξυγόνο της ατμόσφαιρας.

Σχέση κυτταρικής αναπνοής και φωτοσύνθεσης.



ΟΤΑΝ ΤΡΩΣ ΕΝΑ ΚΟΜΜΑΤΙ ΣΟΚΟΛΑΤΑΣ

Όταν τρως ένα κομμάτι σοκολάτας, νιώθεις ευχαρίστηση και δε σε προβληματίζει η παραπέρα πορεία του. Αυτό βέβαια μπαίνει στη διαδικασία της πέψης. Τα σύνθετα μόρια, που την αποτελούν, αρχικά διασπώνται σε απλούστερα. Τα σάκχαρα δίνουν μόρια γλυκόζης, οι πρωτεΐνες δίνουν αμινοξέα και τα λιπίδια λιπαρά οξέα. Στη συνέχεια οι ουσίες αυτές, μέσα στα κύτταρα, μετατρέπονται συνήθως σε ακετυλο-συνένζυμο Α. Από αυτές τις αντιδράσεις διάσπασης παράγεται ελάχιστη ή καθόλου ενέργεια με τη μορφή ATP. Ακολούθως η οξείδωση των μορίων του ακετυλο-συνενζύμου Α στον κύκλο του κιτρικού οξέος και οι αντιδράσεις μεταφοράς ηλεκτρονίων στην αναπνευστική αλυσίδα έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενέργειας χρήσιμης για τον οργανισμό.



Στάδια διάσπασης μακρομορίων που βρίσκονται στις τροφές μας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για την παραγωγή ενέργειας οι οργανισμοί διασπούν αρχικά τα βιολογικά μακρομόρια στις απλούστερες ουσίες από τις οποίες αποτελούνται. Στη συνέχεια οι απλούστερες ουσίες οξειδώνονται αποδίδοντας ενέργεια με τη μορφή ATP.

Στην περίπτωση των υδατανθράκων ο καταβολισμός τους περιλαμβάνει τη γλυκόλυση, τον κύκλο του κιτρικού οξέος και την οξειδωτική φωσφορυλίωση.

Κατά τη γλυκόλυση, που γίνεται στο κυτταρόπλασμα, ένα μόριο γλυκόζης διασπάται σε δύο μόρια πυροσταφυλικού οξέος, με ενεργειακό κέρδος 2 ATP.

Το επόμενο στάδιο, ο κύκλος του κιτρικού οξέος, γίνεται στο εσωτερικό του μιτοχονδρίου με παραγωγή ATP και CO_2.

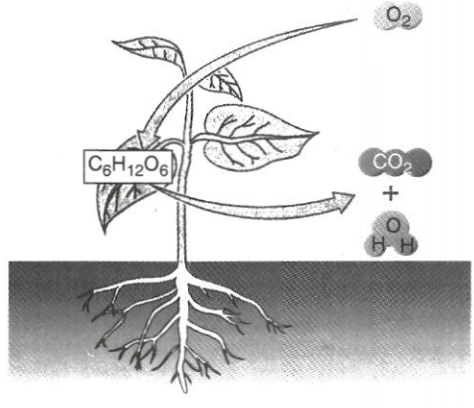
Το τελευταίο στάδιο, δηλαδή η οξειδωτική φωσφορυλίωση, γίνεται στις αναδιπλώσεις της εσωτερικής μεμβράνης του μιτοχονδρίου. Σ' αυτό το στάδιο, παράγονται 32 ATP ανά μόριο γλυκόζης και H_2O. Ο συνολικός δηλαδή αριθμός παραγόμενων ATP από τη διάσπαση ενός μορίου γλυκόζης είναι 36.

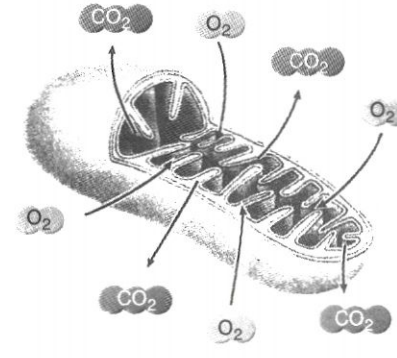
Στους αναερόβιους μικροοργανισμούς, που διαθέτουν τα κατάλληλα ένζυμα και σε ορισμένα ευκαρυωτικά κύτταρα σε αναερόβιες συνθήκες, το πυροσταφυλικό οξύ μπορεί να μετατραπεί είτε σε αιθυλική αλκοόλη (αλκοολική ζύμωση) είτε σε γαλακτικό οξύ (γαλακτική ζύμωση). Η τελευταία γίνεται και στα μυϊκά κύτταρα κατά την έντονη μυϊκή συστολή.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Ο χώρος μέσα από την εσωτερική μεμβράνη του μιτοχονδρίου είναι αντίστοιχος με ..... του χλωροπλάστη.
   α. χρωστική
   β. θυλακοειδές
   γ. στρώμα
   δ. μήτρα

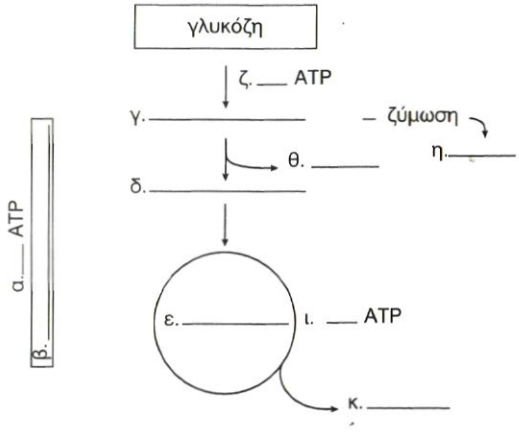
2. Περιγράψτε τη διαδικασία της οποίας στοιχεία αναφέρονται στην εικόνα που ακολουθεί: α) σε επίπεδο οργανισμού, β) σε κυτταρικό επίπεδο.





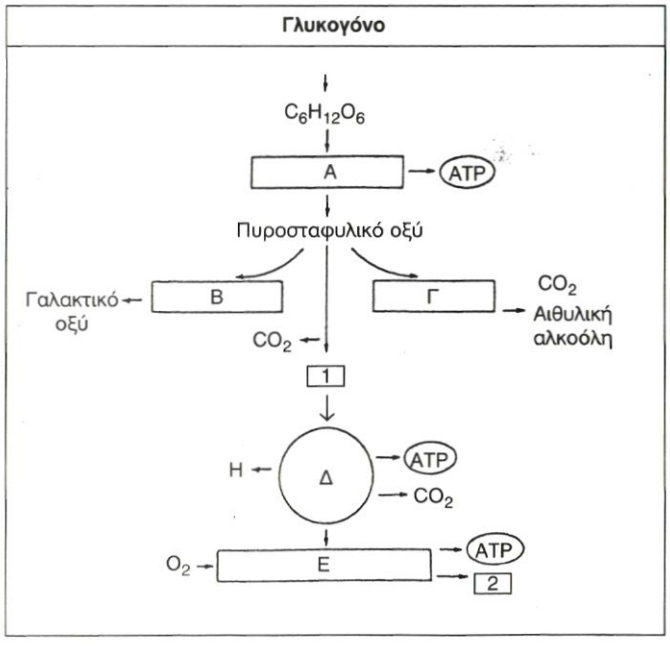
3. Ποιος είναι ο ρόλος της γλυκόλυσης, του κύκλου του κιτρικού οξέος και της οξειδωτικής φωσφορυλίωσης στη διαδικασία της κυτταρικής αναπνοής;

4. Βάλτε τις κατάλληλες ενδείξεις, π.χ. «οξειδωτική φωσφορυλίωση», «κύκλος του κιτρικού οξέος» κτλ., στο διάγραμμα που ακολουθεί. Συμπληρώστε τα κενά με το σωστό αριθμό μορίων ATP.



5. Συμπληρώστε τα κενά στο παρακάτω κείμενο:
Στα κύτταρα η ..... αναπνοή χωρίζεται σε στάδια. Η γλυκόλυση γίνεται στο ..... του κυττάρου. Το τελικό προϊόν της γλυκόλυσης είναι το ....., που μετατρέπεται σε ..... Το τελευταίο εισέρχεται στο επόμενο στάδιο, που είναι .....
Σ' αυτό το στάδιο, εκτός των άλλων, σχηματίζονται ..... και ..... . Για κάθε αρχικό μόριο γλυκόζης το κέρδος σε ενέργεια στο στάδιο αυτό είναι ..... μόρια ATP.

6. Στο παρακάτω διάγραμμα περιγράφονται τα διάφορα στάδια του καταβολισμού της γλυκόζης:



α. Να ονομάσετε τα στάδια Α, Δ, Ε και τις διαδικασίες Β και Γ.
β. Να εξηγήσετε πότε και γιατί γίνεται η διαδικασία Β στα ανθρώπινα μυϊκά κύτταρα.
γ. Να ονομάσετε τις ουσίες 1 και 2. Ποια είναι η σημασία της ουσίας 1;

7. Δύο γυναίκες έχουν το ίδιο βάρος (65 κιλά). Η μία έχει ύψος 1.70 m και κανονικό σώμα, ενώ η άλλη έχει ύψος 1.60 m και ελιναι παχιά. Ποιούς επιπλέον παράγοντες πρέπει να λάβουμε υπόψη μας προκειμένου να εκτιμήσουμε ποια από τις δύο έχει υψηλότερο επίπεδο μεταβολισμού; Προσπαθήστε να δικαιολογήσετε την απάντησή σας.

ΑΣ ΕΡΕΥΝΗΣΟΥΜΕ...

1. Προσπαθήστε να δώσετε μια πιθανή ερμηνεία στο γεγονός ότι οργανισμοί πολύ διαφορετικοί μεταξύ τους όπως, ο άνθρωπος και οι μύκητες, χρησιμοποιούν τις ίδιες μεταβολικές οδούς, για να εξασφαλίσουν τις θρεπτικές ουσίες που τους είναι απαραίτητες.

2. Καθημερινά ακούμε ή χρησιμοποιούμε τους όρους «εισπνοή» και «εκπνοή». Και οι δύο αυτές διαδικασίες μαζί αποτελούν την «εξωτερική αναπνοή». Μπορείτε να βρείτε και να περιγράψετε τη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στην εξωτερική αναπνοή και την κυτταρική αναπνοή; Σε τί διαφέρουν οι δύο αυτές διαδικασίες; Αξιοποιήστε τις γνώσεις που ήδη διαθέτετε και φυσικά οποιαδήποτε πηγή, επιστημονικά αξιόπιστη, έχετε στη διάθεσή σας.

3. Ένας νεαρός συνηθίζει κάθε απόγευμα να τρέχει με χαλαρό ρυθμό δύο χιλιόμετρα. Μια μέρα έτρεξε ένα μόνο χιλιόμετρο, αλλά τόσο γρήγορα, που ένιωσε «φουσκωμένος» και ταυτόχρονα να πονά στο στήθος και στους μυς των ποδιών του.Πώς θα μπορούσατε να ερμηνεύσετε αυτό που συνέβη στο νεαρό χρησιμοποιώντας όρους του μεταβολισμού;

Κεφάλαιο 4

Απεικόνιση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή τμήματος αλυσίδας DNA και χρωμοσώματος.

ΓΕΝΕΤΙΚΗ

4.1 Κύκλος ζωής του κυττάρου

4.2 Μοριακή Γενετική

4.3 Κυτταρική διαίρεση

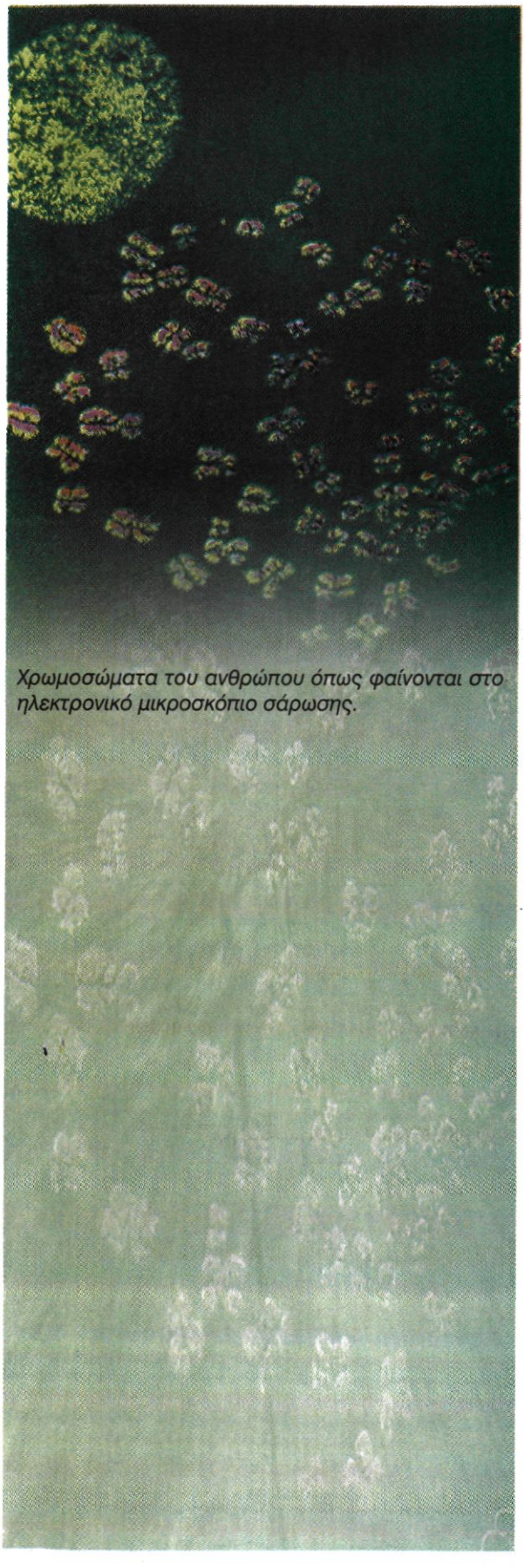
4.4 Γονιδιακές μεταλλάξεις - χρωμοσωμικές ανωμαλίες

4.5 Γενετική Μηχανική

ΔΙΔΑΚΤΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος της μελέτης αυτού του κεφαλαίου θα μπορείτε :

- Να αναγνωρίζετε τη σημασία του όρου «γενετική πληροφορία» και να περιγράφετε τους μηχανισμούς αποθήκευσης, διατήρησης, μεταβίβασης και έκφρασής της.
- Να αναφέρετε και να περιγράφετε τα είδη κυτταρικής διαίρεσης.
- Να αναγνωρίζετε τη σημασία της κυτταρικής διαίρεσης για το κύτταρο και κατ' επέκταση για τον οργανισμό.
- Να αιτιολογείτε τις επιπτώσεις των αλλαγών της γενετικής πληροφορίας για τον οργανισμό.
- Να ερμηνεύετε εφαρμογές των ερευνών σχετικά με το γενετικό υλικό, και να αιτιολογείτε τις δυνατότητες αξιοποίησής τους σε τομείς της καθημερινής ζωής.



Χρωμοσώματα του ανθρώπου όπως φαίνονται στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.

Έως τώρα είδαμε ότι οι οργανισμοί χρειάζεται να εξασφαλίζουν ενέργεια από το περιβάλλον τους, για να διατηρούν τη δομή και τη λειτουργικότητά τους. Στη συνέχεια θα δούμε ότι παράλληλα είναι υποχρεωμένοι να επεξεργάζονται πληροφορίες. Αυτό συμβαίνει, γιατί τα δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των οργανισμών είναι το αποτέλεσμα της έκφρασης μιας σειράς πληροφοριών, τις οποίες κάθε οργανισμός κληρονομεί από τους προγόνους του και κληροδοτεί στους απογόνους του.

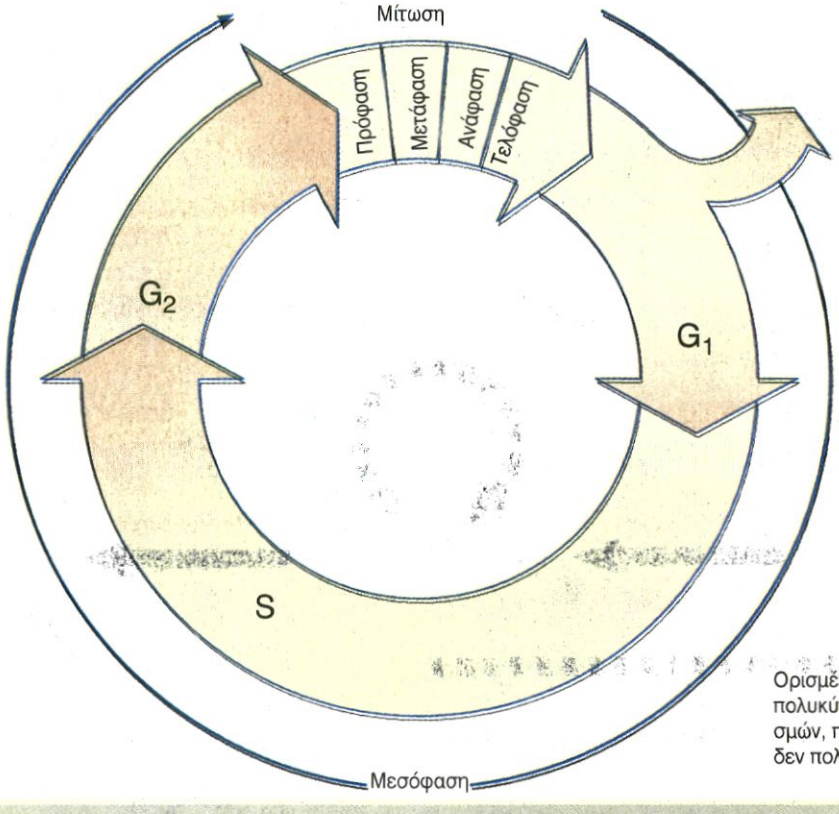
Οι πληροφορίες αυτές χαρακτηρίζονται ως κληρονομικές ή γενετικές και είναι καταγραμμένες στο μόριο του DNA. Η μελέτη του DNA και κυρίως του τρόπου με τον οποίο οι γενετικές αυτές πληροφορίες καταγράφονται σ' αυτό και στη συνέχεια εκφράζονται και μεταβιβάζονται στην επόμενη γενιά είναι μερικά από τα αντικείμενα της επιστήμης της Γενετικής.

Από το 1865, που ο Αυστριακός μοναχός Γ. Μέντελ έθεσε τις βάσεις της, έως σήμερα, που έχει γίνει δυνατή η σύνθεση DNA σε δοκιμαστικό σωλήνα, η πρόοδος της επιστήμης αυτής είναι εντυπωσιακή. Ιδιαίτερα στα χρόνια που ακολούθησαν την ανακάλυψη της δομής του DNA η γενετική έρευνα έχει αποδειχτεί από τις πιο ενδιαφέρουσες και παραγωγικές στο χώρο των θετικών επιστημών. Δεν είναι μάλιστα τυχαίο ότι στις μέρες μας, που η επέμβαση στην έκφραση του γενετικού υλικού είναι πλέον γεγονός, το ενδιαφέρον για τη Γενετική έχει απλωθεί πολύ πέρα από το στενό κύκλο των ερευνητών της. Πολιτικοί, δικηγόροι, διανοούμενοι, επιχειρηματίες αλλά και απλοί άνθρωποι μετέχουν σε μια παγκόσμια συζήτηση, στην οποία τα πιο φιλόδοξα όνειρα του ανθρώπου αναμετρώνται με τους πιο βαθείς φόβους για τις συνέπειες των εφαρμογών της.

4.1 ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΚΥΤΤΑΡΟΥ

Το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από τη δημιουργία ενός κυττάρου ως τότε που και το ίδιο θα παράγει τους απογόνους του, ονομάζεται **κυτταρικός κύκλος** ή **κύκλος ζωής του κυττάρου**. Τον κύκλο αυτό, αν και αποτελεί μια συνεχή διαδοχή γεγονότων, τον χωρίζουμε σε δύο φάσεις, στη **μεσόφαση** και στη **μιτωτική διαίρεση** ή **μίτωση**, προκειμένου να τον περιγράψουμε και να τον μελετήσουμε καλύτερα.

Η **μεσόφαση** παρεμβάλλεται σε δύο διαδοχικές μιτωτικές διαιρέσεις και αντιπροσωπεύει το 90% έως 95% της διάρκειας του κυτταρικού κύκλου. Τα κύτταρα κατά τη διάρκειά της φαίνεται να «αδρανούν», γιατί δεν παρατηρούνται έντονα κινητικά φαινόμενα στο χώρο του πυρήνα. Στην πραγματικότητα όμως αποτελεί αφ' ενός περίοδο αύξησης του όγκου του κυττάρου και αφ' ετέρου περίοδο προετοιμασίας του κυττάρου για την επικείμενη διαίρεσή του. Αυτό σημαίνει έντονες μεταβολικές διαδικασίες (διπλασιασμό του DNA, σύνθεση mRNA, tRNA, πρωτεϊνών κτλ.).



Ορισμένα είδη κυττάρων πολυκύτταρων οργανισμών, π.χ. τα νευρικά, δεν πολλαπλασιάζονται.

*Η μεσόφαση υποδιαιρείται στα στάδια G_1, S και G_2. Στο στάδιο **G_1**, που είναι το μεγαλύτερο σε διάρκεια, γίνεται η βιοσύνθεση mRNA, tRNA, ριβοσωμάτων και πρωτεϊνών (δομικών και λειτουργικών).*
Παράλληλα, εξίσου έντονη είναι και η αναπνοή του κυττάρου, ώστε να καλύψει τις αυξημένες ενεργειακές ανάγκες αυτής της περιόδου.
*Στο στάδιο **S**, που είναι το μικρότερο σε διάρκεια, γίνεται ο αυτοδιπλασιασμός του γενετικού υλικού. Στο τέλος αυτού του σταδίου το κύτταρο έχει διπλασιάσει την ποσότητα του γενετικού του υλικού, ενώ τα δύο αντίγραφα που έχουν παραχθεί φέρουν ταυτόσημες γενετικές πληροφορίες.*
*Το στάδιο **G_2** είναι μια μεταβατική περίοδος πριν από την έναρξη της μιτωτικής διαίρεσης. Στη διάρκειά της τα μιτοχόνδρια, οι χλωροπλάστες και το κεντροσωμάτιο (στα ζωικά κύτταρα) διαιρούνται. Τα χρωμοσώματα δεν μπορούν ακόμη να γίνουν ορατά ως μεμονωμένες δομές, γιατί η χρωματίνη που τα συνιστά δεν έχει ακόμη συμπυκνωθεί στο μέγιστο βαθμό.*

4.2 ΜΟΡΙΑΚΗ ΓΕΝΕΤΙΚΗ

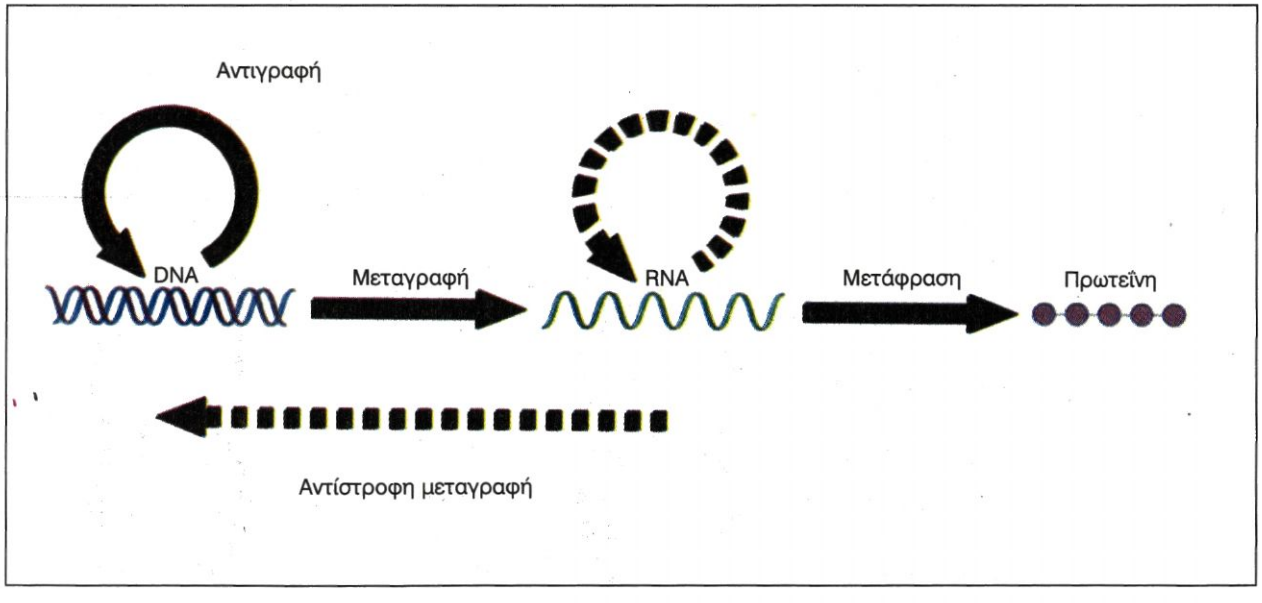
Το κεντρικό δόγμα της Βιολογίας

Κάθε κύτταρο, και κατ' επέκταση κάθε οργανισμός, κατασκευάζει τις δομές του και πραγματοποιεί τις λειτουργίες του σύμφωνα με μια σειρά πληροφοριών, που έχει κληρονομήσει από τους προγόνους του.
Οι πληροφορίες αυτές είναι καταγραμμένες στην αλληλουχία των αζωτούχων βάσεων του DNA, του μορίου δηλαδή που αποτελεί το γενετικό υλικό των κυττάρων.
Η λειτουργία του DNA ως γενετικού υλικού είναι δυνατή, γιατί το μόριο αυτό έχει τις παρακάτω ιδιότητες:

α. Παράγει ακριβή αντίγραφά του, έτσι ώστε η γενετική πληροφορία μεταβιβάζεται αναλλοίωτη από κύτταρο σε κύτταρο και από γενιά σε γενιά.
β. Προσδιορίζει την παραγωγή των διάφορων ειδών RNA και, μέσω αυτών, των πρωτεϊνών.

Οι πρωτεΐνες, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι υπεύθυνες για τα βασικά δομικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά των κυττάρων.
Η κατεύθυνση με την οποία η γενετική πληροφορία, που είναι καταγραμμένη στο μόριο του DNA «ρέει» προς τις πρωτεΐνες, ονομάστηκε **κεντρικό δόγμα της Βιολογίας.**

Έως το 1970 οι επιστήμονες πίστευαν στην καθολικότητα του δόγματος της Μοριακής Βιολογίας. Εκείνη τη χρονιά οι Χ. Τέμιν και Ντ. Μπάλτιμορ ανακάλυψαν ότι ορισμένοι ιοί, οι οποίοι διαθέτουν RNA ως γενετικό υλικό, μπορούν, με πρότυπο αυτό, να συνθέτουν DNA. Αυτό οδηγεί στην επαναδιατύπωση του κεντρικού δόγματος της Βιολογίας. Έτσι στη σύγχρονη διατύπωσή του περιλαμβάνεται και η αμφίδρομη πορεία της γενετικής πληροφορίας από το RNA στο DNA. Έως σήμερα δεν έχει διαπιστωθεί αμφίδρομη ροή της γενετικής πληροφορίας από τις πρωτεΐνες προς το RNA. Αν διαπιστωνόταν ποτέ κάτι τέτοιο, θα προκαλούσε ριζικές αναπροσαρμογές στο οικοδόμημα της Βιολογίας.



Διάγραμμα του κεντρικού δόγματος της Βιολογίας. Έχει πλέον αποδειχτεί ότι μπορεί να γίνει σύνθεση RNA με πρότυπο επίσης RNA, χωρίς τη μεσολάβηση DNA.

Αντιγραφή του DNA

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μεταβίβαση της γενετικής πληροφορίας από τα κύτταρα στα θυγατρικά τους (και φυσικά από τους οργανισμούς στους απογόνους τους), είναι ο αυτοδιπλασιασμός του μορίου του DNA. Πώς όμως γίνεται αυτό;

Οι πρώτες έρευνες σχετικά με τον αυτοδιπλασιασμό του γενετικού υλικού έγιναν στο βακτήριο Escherichia coli (Εσερίχια κόλι) από τον Α. Κόρνμπεργκ. Η επιλογή του βακτηρίου αυτού δεν έγινε τυχαία. Η Escherichia coli αποτελεί ένα από τα προσφιλέστερα πειραματικά «υλικά» των γενετιστών και των μοριακών βιολόγων.

Αυτό που διευκολύνει τις μελέτες τους είναι ότι το DNA του μικροοργανισμού αυτού, όπως και όλων των προκαρυωτικών οργανισμών, δεν εμφανίζεται συνδεδεμένο με πρωτεΐνες μ' αυτό τον πολύπλοκο τρόπο που παρουσιάζεται συνδεδεμένο το DNA των κυττάρων των ευκαρυωτικών οργανισμών. Ήταν συνεπώς ευκολότερο να μελετηθεί στους οργανισμούς αυτούς η διαδικασία αυτοδιπλασιασμού του DNA.

Η μελέτη αυτή, που κράτησε χρόνια, έδειξε ότι ο διπλασιασμός ξεκινά από κάποιο σημείο της αλυσίδας του DNA. Τα γεγονότα που ακολουθούν είναι κατά σειρά:

- Σπάσιμο των δεσμών υδρογόνου μεταξύ των συμπληρωματικών βάσεων μιας περιοχής.
- Ξετύλιγμα της δίκλωνης έλικας στην περιοχή αυτή.
- Αντιγραφή και των δύο κλώνων του DNA ταυτόχρονα, με τη βοήθεια ενός ενζύμου (DNA πολυμεράση III). Η αντιγραφή γίνεται με τον εξής τρόπο: απέναντι από κάθε νουκλεοτίδιο και των δύο μητρικών κλώνων τοποθετείται ένα άλλο νουκλεοτίδιο, **σύμφωνα με την αρχή της συμπληρωματικότητας των βάσεων**. Δηλαδή απέναντι από τα νουκλεοτίδια που περιέχουν τις αζωτούχες βάσεις αδενίνη, θυμίνη, γουανίνη, κυ-τοσίνη τοποθετούνται νουκλεοτίδια που φέρουν, αντίστοιχα, τις βάσεις θυμίνη, αδενίνη, κυτοσίνη, γουανίνη και συνδέονται μεταξύ τους με ομοιοπολικό δεσμό.

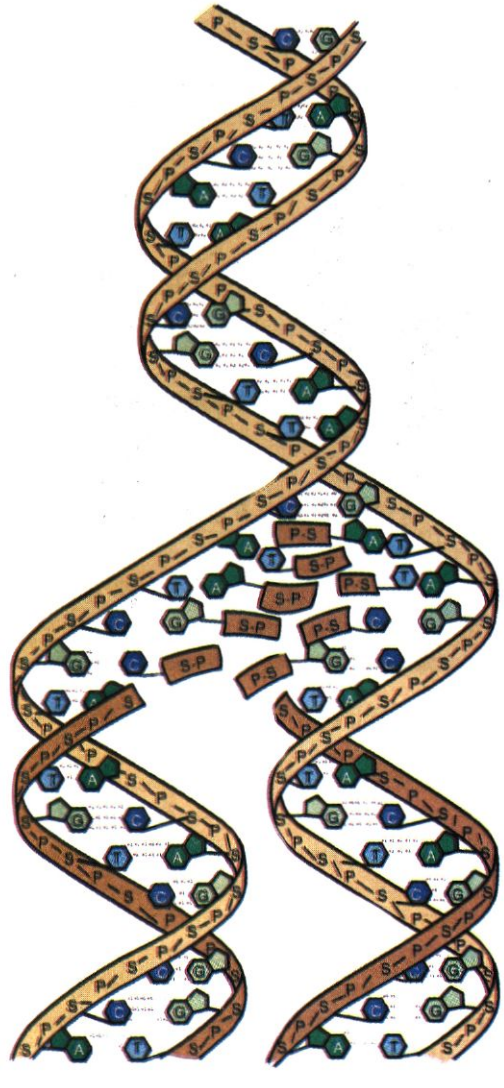
Έτσι, σταδιακά, και καθώς το αρχικό άνοιγμα διευρύνεται, σχηματίζονται οι δύο θυγατρικές πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες, καθεμιά από τις οποίες είναι συμπληρωματική της μητρικής που χρησιμοποίησε ως πρότυπο. Στο τέλος δηλαδή του αυτοδιπλασιασμού όλου του μητρικού μορίου έχουν παραχθεί δύο μόρια. Καθένα από αυτά αποτελείται από μία μητρική και από τη συμπληρωματική της θυγατρική αλυσίδα. Τα νέα μόρια έχουν πανομοιότυπες αλληλουχίες βάσεων τόσο μεταξύ τους όσο και με το αρχικό μόριο. Ο τρόπος αυτός αυτοδιπλασιασμού του DNA χαρακτηρίζεται ως **ημισυντηρητικός**, γιατί κάθε θυγατρικό μόριο αποτελείται από έναν παλαιό κλώνο και από έναν εξ ολοκλήρου νέο.

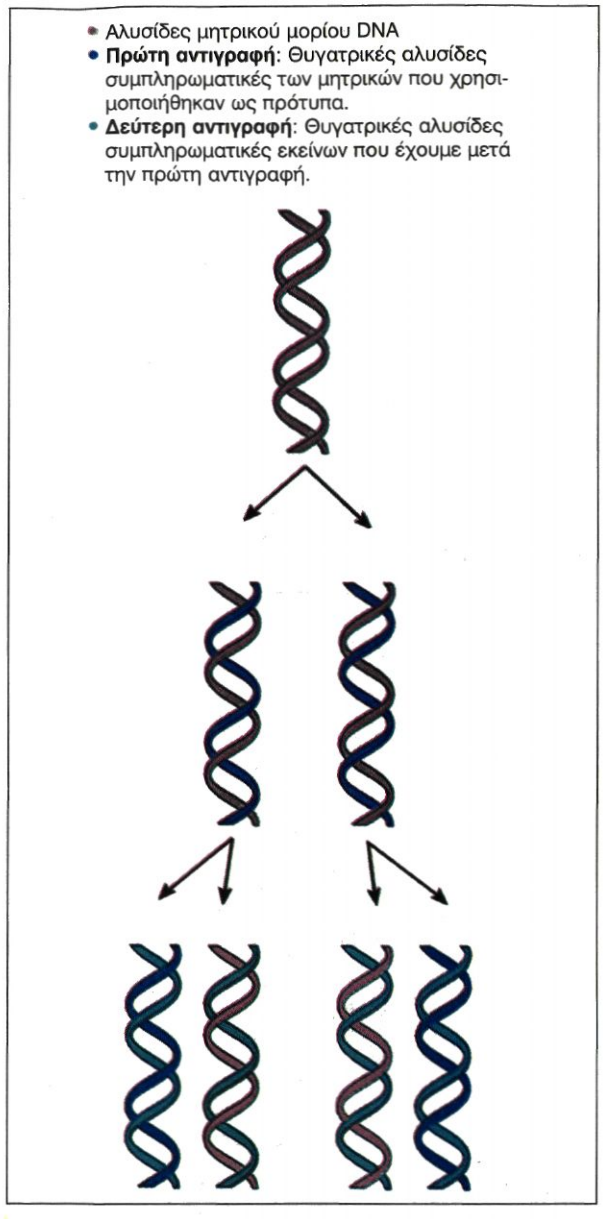
Η πιστότητα της αντιγραφής διασφαλίζεται με ένα μηχανισμό στον οποίο μετέχει πάλι το ίδιο ένζυμο (DNA πολυμεράση III). Το ένζυμο αυτό έχει την ικανότητα να διαπιστώνει και να επιδιορθώνει τα λάθη που έχουν συμβεί κατά τη διάρκεια της αντιγραφής. Μπορεί δηλαδή, να ανακαλύπτει και να απομακρύνει τα νουκλεοτίδια που έχουν τοποθετηθεί κατά παράβαση της αρχής της συμπληρωματικότητας.

Στα ευκαρυωτικά κύτταρα φαίνεται ότι η έναρξη της αντιγραφής δε γίνεται από ένα μόνο σημείο, όπως στα βακτήρια, αλλά από πολυάριθμα σημεία ταυτοχρόνως. Έτσι μπορεί να εξηγηθεί η μεγάλη ταχύτητα με την οποία επιτελείται.

Χάρη στον αυτοδιπλασιασμό του DNA, που γίνεται στον πυρήνα πριν από τη διαίρεση του κυττάρου, κάθε θυγατρικό κύτταρο παίρνει το ίδιο ακριβώς γενετικό υλικό σε ποσότητα και ποιότητα με αυτό που είχε το μητρικό κύτταρο. Οι γενετικές πληροφορίες δηλαδή αντιγράφονται και μεταβιβάζονται με εκπληκτική ακρίβεια από γενιά σε γενιά κυττάρων και κατ' επέκταση οργανισμών.

Ο αυτοδιπλασιασμός του DNA.





Ημισυντηρητικός τρόπος αυτοδιπλασιασμού του DNA.

Μεταγραφή

Με δεδομένο ότι το DNA, στο οποίο είναι καταγραμμένες οι γενετικές πληροφορίες, βρίσκεται στον πυρήνα του κυττάρου, ενώ οι πρωτεΐνες συντίθενται στα ριβοσώματα, που βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια των αγωγών του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου και στο κυτταρόπλασμα, γίνεται φανερή η ανάγκη οι γενετικές πληροφορίες, για να κατευθύνουν την παραγωγή των πρωτεϊνών, να μεταφέρονται από τον πυρήνα στο κυτταρόπλασμα.

Θα μπορούσε βέβαια το ίδιο το μόριο του DNA ή μικρά τμήματά του να μετακινούνται από τον πυρήνα στο κυτταρόπλασμα. Όμως η πυρηνική μεμβράνη δεν είναι διαπερατή από το DNA, γι' αυτό άλλωστε δεν έχει ποτέ ανιχνευτεί πυρηνικό DNA στο κυτταρόπλασμα. Μια ανάγκη που επίσης εμφανίζεται συχνά σε όλα τα κύτταρα (προκαρυωτικά και ευκαρυωτικά) είναι να παράγουν ταυτόχρονα πολυάριθμα μόρια της ίδιας πρωτεΐνης. Είναι επομένως πρακτικά αδύνατο το ίδιο μόριο DNA να βρίσκεται ταυτόχρονα σε διαφορετικά ριβοσώματα τα οποία απαιτούνται για την παραγωγή πολλών μορίων της ίδιας πρωτεΐνης.

Λύση στο πρόβλημα αυτό δίνει ένα ενδιάμεσο μόριο, το οποίο παράγεται με πρότυπο το DNA και το οποίο μεταφέρει την πληροφορία από τον πυρήνα στο κυτταρόπλασμα. Το ενδιάμεσο αυτό μόριο μπορεί να παραχθεί σε πολλά αντίγραφα. Έτσι εξηγείται η δυνατότητα να γίνεται σύνθεση πολλών μορίων της ίδιας πρωτεΐνης. Η ύπαρξη του ενδιάμεσου αυτού μορίου, που ονομάστηκε **αγγελιαφόρο RNA** (mRNA), επιβεβαιώθηκε πειραματικά το 1961 από τους Φ. Ζακόμπ και Ζ. Μονό. Η διαδικασία με την οποία παράγεται το mRNA ονομάζεται **μεταγραφή**. Ας δούμε τον τρόπο με τον οποίο γίνεται:

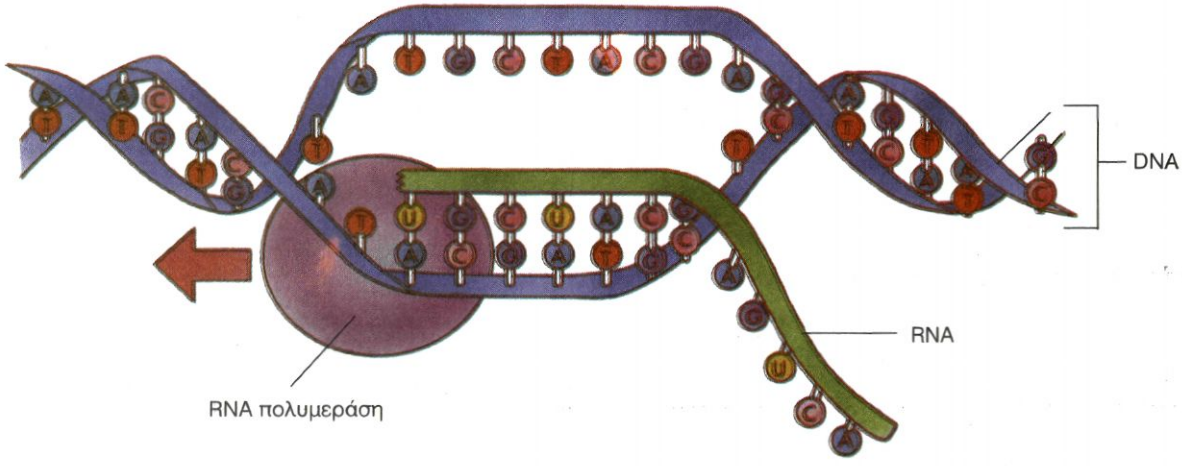
Στο τμήμα του DNA όπου υπάρχει η γενετική πληροφορία την οποία το κύτταρο θέλει να μεταγράψει σπάνε οι δεσμοί υδρογόνου, που συγκρατούν τις αζωτούχες βάσεις, και ανοίγει η διπλή έλικα. Αρχίζει στη συνέχεια η σύνθεση ενός μορίου rnRNA, με πρότυπο τον έναν από τους δύο κλώνους του DNA, που φέρει την πληροφορία για τη σύνθεση της συγκεκριμένης πρωτεΐνης.

Απέναντι από κάθε δεσοξυριβονουκλεοτίδιο αυτού του κλώνου τοποθετείται ένα ριβονουκλεοτίδιο σύμφωνα με την αρχή της συμπληρωματικότητας των βάσεων, που εφαρμόστηκε και κατά την αντιγραφή, με μία όμως διαφορά: απέναντι από κάθε δεσοξυριβονουκλεοτίδιο του μεταγραφόμενου κλώνου, που περιέχει αδενίνη, τοποθετείται ένα ριβονουκλεοτίδιο, που περιέχει ουρακίλη. Το ένζυμο RNA πολυμεράση συνδέει τα ριβονουκλεοτίδια, που προστίθενται το ένα μετά το άλλο, με ομοιοπολικό δεσμό.

Όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία, έχει πλέον συντεθεί ένα μονόκλωνο μόριο mRNA, του οποίου η αλληλουχία των ριβονουκλεοτιδίων «υπαγορεύτηκε» από την αλληλουχία των δεσοξυριβονουκλεοτιδίων του μεταγραφόμενου τμήματος του DNA, δηλαδή από ένα **γονίδιο**. Χρησιμοποιούμε για τη διαδικασία αυτή τον όρο «μεταγραφή», γιατί η γενετική πληροφορία που ήταν καταγραμμένη στη γλώσσα του DNA (A, T, G, C) μεταγράφεται στη γλώσσα του RNA, στην οποία αντί της θυμίνης χρησιμοποιείται η αζωτούχα βάση ουρακίλη.

Όπως η αντιγραφή, έτσι και η μεταγραφή είναι μια ακριβής διαδικασία. Ωστόσο και στη μεταγραφή συμβαίνουν λάθη, που είναι μάλιστα πιθανότερα από ό,τι στην αντιγραφή, γιατί η RNA πολυμεράση δεν παίζει ρόλο ελεγκτή της ορθής τοποθέτησης των ριβονουκλεοτιδίων. Βέβαια τα λάθη αυτά, σε αντίθεση με τα λάθη της αντιγραφής, δε διαιωνίζονται μεταβιβαζόμενα από γενιά σε γενιά. Αφορούν μόνο το μόριο ή τα μόρια πρωτεΐνης που θα παραχθούν από το συγκεκριμένο mRNA.

Με μεταγραφή δεν παράγεται μόνο το mRNA αλλά και τα άλλα είδη RNA, όπως το tRNA, που συμμετέχει στη διαδικασία της πρωτεϊνοσύνθεσης, και το rRNA, που αποτελεί δομικό συστατικό των ριβοσωμάτων.



Μεταγραφή μιας περιοχής του DNA σε RNA, με τη βοήθεια του ενζύμου RNA πολυμεράση.

Μετάφραση

Το τελευταίο στάδιο στην έκφραση της γενετικής πληροφορίας είναι η μετάφρασή της, δηλαδή η παραγωγή του πρωτεϊνικού μορίου. Στη διαδικασία αυτή, που γίνεται στα ριβοσώματα, η αλληλουχία των νουκλεοτιδίων του mRNA «υπαγορεύει» την παραγωγή μιας πολυπεπτιδικής αλυσίδας με καθορισμένη αλληλουχία αμινοξέων.

Με τον τρόπο αυτό η γενετική πληροφορία, που είναι καταγραμμένη στα νουκλεϊνικά οξέα στη γλώσσα των τεσσάρων γραμμάτων (A, T, G, C για το DNA και A, U, G, C για το RNA), μεταφράζεται σε μια ολότελα διαφορετική γλώσσα με 20 διαφορερικά γράμματα, όσα είναι δηλαδή, τα διαφορετικά αμινοξέα που συνθέτουν τις πρωτεΐνες όλων των οργανισμών.

Όμως, ενώ κατά τη μεταγραφή δεν παρουσιάζονταν προβλήματα κωδικοποίησης, αφού κάθε βάση του DNA αντιστοιχεί σε μια συμπληρωματική της του mRNA, κατά τη μετάφραση παρουσιάζεται το εξής πρόβλημα: οι διαφορετικές αζωτούχες βάσεις είναι τέσσερις, ενώ τα διαφορετικά αμινοξέα που συνθέτουν τις πρωτεΐνες είναι είκοσι. Συνεπώς δεν είναι δυνατό ένα νουκλεοτίδιο να κωδικοποιεί ένα αμινοξύ, διότι τότε δε θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν περισσότερα από τέσσερα διαφορετικά αμινοξέα. Ούτε είναι πιθανό μια δυάδα νουκλεοτιδίων να κωδικοποιεί ένα αμινοξύ, διότι τότε θα κωδικοποιούνταν το πολύ δεκαέξι διαφορετικά αμινοξέα, όσες είναι δηλαδή οι διαφορετικές δυάδες νουκλεοτιδίων που μπορούν να σχηματιστούν. Αν όμως μια τριάδα νουκλεοτιδίων κωδικοποιεί ένα αμινοξύ, τότε οι συνδυασμοί που προκύπτουν είναι εξήντα τέσσερις (4^3), δηλαδή αριθμός ικανός για την κωδικοποίηση των είκοσι διαφορετικών αμινοξέων.

Με τα πειράματα που έγιναν το 1961 από το Μ. Νίρεμπεργκ και ολοκληρώθηκαν το 1965 από τους Σ. Οχόα και Γκ. Κοράνα προσδιορίστηκε το αμινοξύ που κωδικοποιείται από κάθε τριάδα νουκλεοτιδίων, η οποία ονομάζεται **κωδικόνιο**.

Έτσι συντάχθηκε ο **γενετικός κώδικας**, το λεξικό δηλαδή με βάση το οποίο μεταφράζεται η γενετική πληροφορία. Τα χαρακτηριστικά του γενετικού κώδικα είναι:

- Ο γενετικός κώδικας είναι **τριαδικός**, μια τριάδα δηλαδή νουκλεοτιδίων (κωδικόνιο) κωδικοποιεί ένα αμινοξύ.
- Από τα εξήντα τέσσερα διαφορετικά κωδικόνια τέσ-

Γενετικός κώδικας

Πρώτο γράμμα	Δεύτερο γράμμα: U	C	A	G	Τρίτο γράμμα
U	UUU, UUC: φαινυλαλανίνη UUA, UUG: λευκίνη	UCU, UCC, UCA, UCG: σερίνη	UAU, UAC: τυροσίνη UAA: λήξη UAG: λήξη	UGU, UGC: κυστεΐνη UGA: λήξη UGG: τρυπτοφάνη	U C A G
C	CUU, CUC, CUA, CUG: λευκίνη	CCU, CCC, CCA, CCG: προλίνη	CAU, CAC: ιστιδίνη CAA, CAG: γλουταμίνη	CGU, CGC, CGA, CGG: αργινίνη	U C A G
A	AUU, AUC, AUA: ισολευκίνη AUG: μεθειονίνη, έναρξη	ACU, ACC, ACA, ACG: θρεονίνη	AAU, AAC: ασπαραγγίνη AAA, AAG: λυσίνη	AGU, AGC: σερίνη AGA, AGG: αργινίνη	U C A G
G	GUU, GUC, GUA, GUG: βαλίνη	GCU, GCC, GCA, GCG: αλανίνη	GAU, GAC: ασπαρτικό οξύ GAA, GAG: γλουταμινικό οξύ	GGU, GGC, GGA, GGG: γλυκίνη	U C A G

σερα έχουν διαφορετικό ρόλο από τα υπόλοιπα στη μεταφραστική διαδικασία. Τα τρία από αυτά δεν κωδικοποιούν κανένα αμινοξύ και λειτουργούν ως σήματα λήξης της μετάφρασης, ενώ το τέταρτο (AUG), εκτός από το ότι κωδικοποιεί το αμινοξύ μεθειονίνη, λειτουργεί και ως σήμα έναρξης της μετάφρασης.

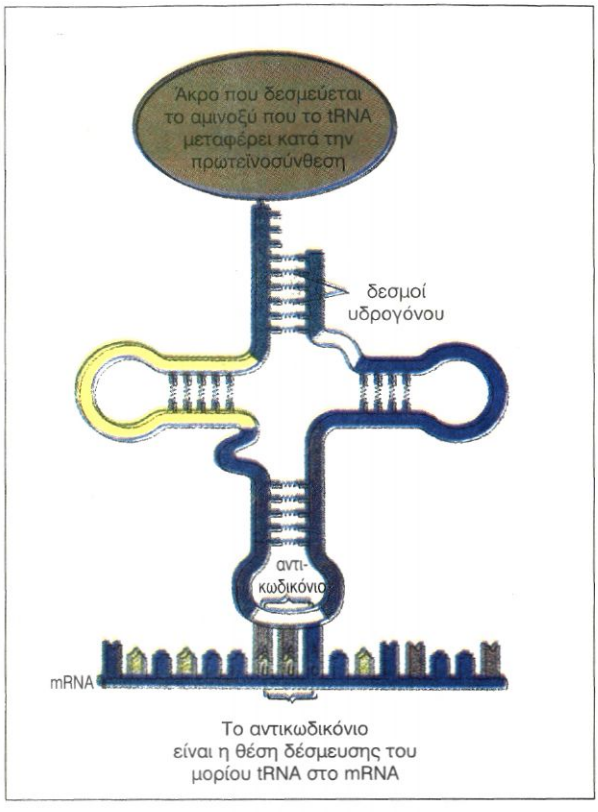
- Ο γενετικός κώδικας είναι **εκφυλισμένος**, με την έννοια ότι όλα τα αμινοξέα, εκτός από δύο, κωδικοποιούνται από περισσότερα του ενός κωδικόνια. Η ύπαρξη αυτών των κωδικονίων, που χαρακτηρίζονται ως **συνώνυμα**, παρέχει τη δυνατότητα η γενετική πληροφορία να εκφράζεται αναλλοίωτα, παρά τις ενδεχόμενες αλλαγές στο γενετικό υλικό.
- Ο γενετικός κώδικας είναι **μη επικαλυπτόμενος**. Αυτό σημαίνει ότι η μετάφραση ξεκινά από καθορισμένα σημεία του mRNA προχωρώντας τρία νουκλεοτίδια κάθε φορά. Έτσι αποκλείεται ένα νουκλεοτίδιο να διαβαστεί δύο φορές ως μέλος διαφορετικών κωδικονίων.
- Είναι **παγκόσμιος**, καθώς οι έως τώρα ενδείξεις συνηγορούν στο ότι το ίδιο κωδικόνιο κωδικοποιεί το ίδιο αμινοξύ σε όλους τους οργανισμούς. Η παγκοσμιότητα του γενετικού κώδικα είναι ένα από τα ισχυρότερα επιχειρήματα υπέρ της κοινής καταγωγής των οργανισμών.

Ας δούμε τώρα και τους υπόλοιπους παράγοντες που παίρνουν μέρος στην πρωτεϊνοσύνθεση και στη συνέχεια θα γνωρίσουμε το μηχανισμό της.

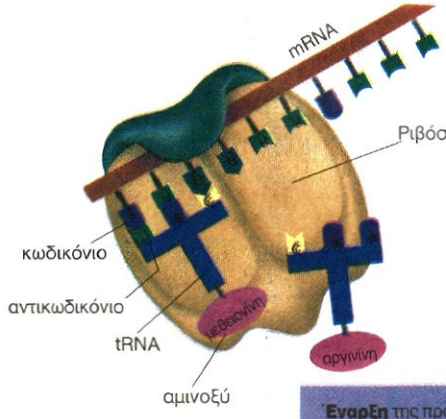
Εκτός από το mRNA, τα ριβοσώματα και φυσικά τα αμινοξέα, στην πρωτεϊνοσύνθεση μετέχουν επίσης το tRNA, διάφορα ένζυμα και ενέργεια με τη μορφή ATP κ.ά. Τα tRNA διαθέτουν μία χαρακτηριστική τριάδα νουκλεοτιδίων, που λέγεται **αντικωδικόνιο**, και είναι μπληρωματική με ένα κωδικόνιο του mRNA. Έτσι τα διάφορα είδη tRNA μπορούν να αναγνωρίζουν τα κωδικόνια που είναι συμπληρωματικά των αντικωδικονίων τους, και να συνδέονται μαζί τους με δεσμούς υδρογόνου. Το tRNA διαθέτει επίσης μία θέση σύνδεσής του με ένα αμινοξύ. Μάλιστα, κάθε μόριο tRNA, ανάλογα με το αντικωδικόνιό του, συνδέεται με ένα συγκεκριμένο είδος αμινοξέος.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

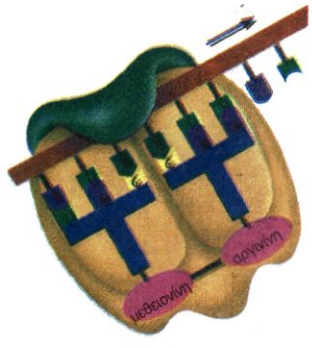
Ποια είναι η διαφορά μεταξύ ενός νουκλεοτιδίου, μιας αζωτούχας βάσης και ενός κωδικονίου;



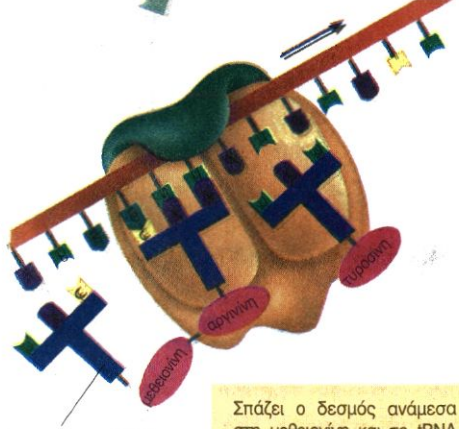
Τα tRNA διαθέτουν μια χαρακτηριστική τριάδα νουκλεοτιδίων, το αντικωδικόνιο, που είναι συμπληρωματική με ένα κωδικόνιο του mRNA. Διαθέτουν επίσης μια θέση σύνδεσης με ένα αμινοξύ.



Έναρξη της πρωτεϊνοσύνθεσης: Σύνδεση του ριβοσώματος με το mRNA. Το tRNA που μεταφέρει τη μεθειονίνη συνδέεται με το πρώτο κωδικόνιο.

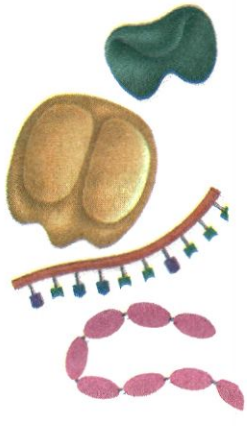


Επιμήκυνση: Το tRNA που μεταφέρει το αμινοξύ που κωδικοποιείται από το δεύτερο κωδικόνιο τοποθετείται δίπλα στο πρώτο.



Σπάζει ο δεσμός ανάμεσα στη μεθειονίνη και το tRNA που τη μεταφέρει και το tRNA απελευθερώνεται. Το ριβόσωμα μετατοπίζεται προς τα δεξιά, και το δεύτερο κωδικόνιο έρχεται στη θέση που ήταν το πρώτο. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται επιμηκύνοντας την πεπτιδική αλυσίδα.

Λήξη: Τελικά το ριβόσωμα φτάνει στο κωδικόνιο λήξης του mRNA. Η πρωτεϊνοσύνθεση έχει ολοκληρωθεί και η πολυπεπτιδική αλυσίδα ελευθερώνεται.



Το ριβόσωμα μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση μιας άλλης πολυπεπτιδικής αλυσίδας.

Διαδοχικά στάδια της πρωτεϊνοσύνθεσης.

Η διαδικασία της μετάφρασης περιλαμβάνει τρία στάδια: την έναρξη, την επιμήκυνση και τη λήξη.

Έναρξη: Το mRNA, που έχει συντεθεί στον πυρήνα, μεταναστεύει στο κυτταρόπλασμα και συνδέεται με ένα ριβόσωμα σε συγκεκριμένη θέση. Το πρώτο κωδικόνιο που «διαβάζει» το ριβόσωμα είναι το AUG, που χαρακτηρίζεται ως **κωδικόνιο έναρξης**, γιατί σηματοδοτεί την έναρξη της πρωτεϊνοσύνθεσης. Ταυτόχρονα μεταφέρεται και συνδέεται στο ριβόσωμα ένα μόριο tRNA, που φέρει το αμινοξύ μεθειονίνη και έχει αντικωδικόνιο συμπληρωματικό του κωδικονίου έναρξης.

Επιμήκυνση: Ένα δεύτερο μόριο tRNA με αντικωδικόνιο συμπληρωματικό του δεύτερου, κατά σειρά, κωδικονίου τοποθετείται στο ριβόσωμα, δίπλα στο πρώτο, μεταφέροντας εκεί το δεύτερο αμινοξύ. Ανάμεσα στο δεύτερο αμινοξύ και στη μεθειονίνη δημιουργείται ένας δεσμός (πεπτιδικός) που τα συγκρατεί ενωμένα. Το πρώτο tRNA αποδεσμεύει τη μεθειονίνη και απελευθερώνεται στο κυτταρόπλασμα, ενώ το ριβόσωμα μετατοπίζεται προς το επόμενο κωδικόνιο.
Με αυτή όμως τη μετατόπιση το δεύτερο tRNA μεταφέρεται στη θέση του ριβοσώματος στην οποία ήταν το πρώτο tRNA. Στη συνέχεια ένα τρίτο tRNA, το οποίο μεταφέρει το τρίτο αμινοξύ, συνδέεται στο ριβόσωμα, δίπλα στο δεύτερο. Ανάμεσα στο δεύτερο και στο τρίτο αμινοξύ σχηματίζεται πεπτιδικός δεσμός. Κάθε φορά που το ριβόσωμα μετατοπίζεται στο επόμενο σε θέση κωδικόνιο του mRNA, ένα νέο tRNA, με το αμινοξύ που μεταφέρει, τοποθετείται απέναντι από το κωδικόνιο αυτό. Το νέο αμινοξύ ενώνεται με πεπτιδικό δεσμό με το προηγούμενο και η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται, επιμηκύνοντας την πεπτιδική αλυσίδα μέχρι την ολοκλήρωση της σύνθεσής της.

Λήξη: Όταν το ριβόσωμα φτάσει σε ένα από τα τρία κωδικόνια λήξης (UAG, UAA, UGA), σταματάει η πρωτεϊνοσύνθεση. Η πολυπεπτιδική αλυσίδα απελευθερώνεται από τα ριβοσώματα. Βέβαια, όπως έχει ήδη αναφερθεί, με τη σύνθεση των πολυπεπτιδικών αλυσίδων δεν ολοκληρώνεται πάντα και η σύνθεση των πρωτεϊνικών μορίων. Πολλές από τις πολυπεπτιδικές αλυσίδες χρειάζεται να υποστούν ενζυμική επεξεργασία στα κατάλληλα οργανίδια (σύμπλεγμα Golgi, αδρό ενδοπλασματικό δίκτυο για τα ευκαρυωτικά κύτταρα), προκειμένου να αποτελέσουν ή να συμμετάσχουν στη δημιουργία ενός πρωτεϊνικού μορίου.
Αξίζει να σημειωθεί ότι είναι δυνατό σε ένα μόριο mRNA να συνδέονται ταυτόχρονα πολλά ριβοσώματα. Έτσι τα κύτταρα μπο-ρούν να παράγουν σε μικρό χρονικό διάστημα πολυάριθμα αντίγραφα του ίδιου πρωτεϊνικού μορίου.

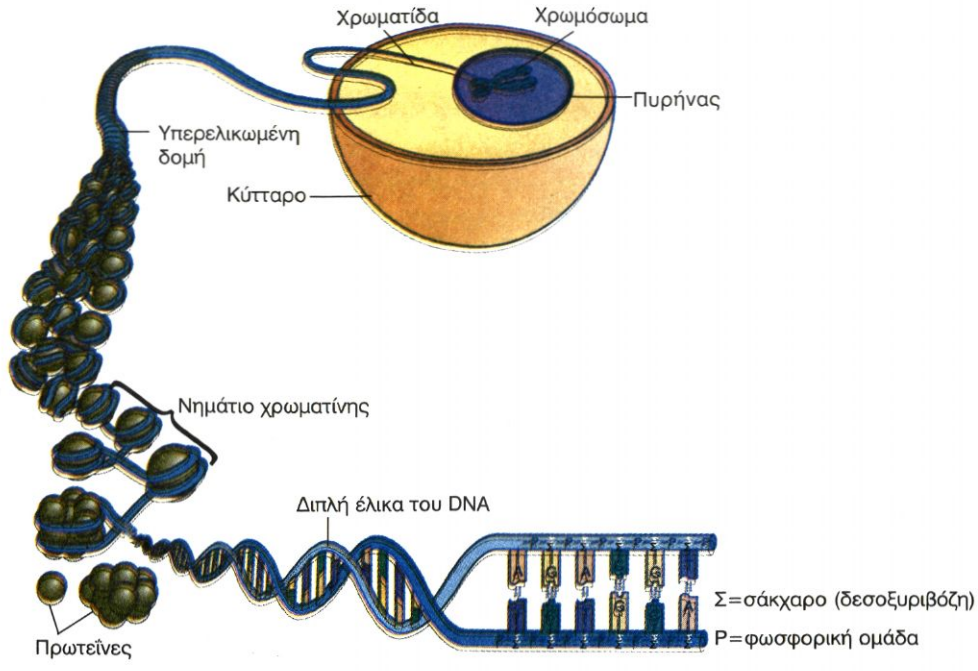
ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Αν μια αλληλουχία νουκλεοτιδίων του DNA είναι T A C A A A G C A, ποια είναι η αλληλουχία νουκλεοτιδίων του mRNA που μπορεί να προκύψει από αυτήν; Ποια αμινοξέα μπορεί να προκύψουν από αυτή την αλληλουχία νουκλεοτιδίων;

Η χρωματίνη και το χρωμόσωμα

Στο μοντέλο που πρότειναν οι Τζ. Γουάτσον και Φ. Κρικ το μόριο του DNA εμφανίζεται με τη μορφή μιας διπλής έλικας. Είναι άραγε δυνατό να παρατηρήσουμε τη διπλή έλικα στο μικροσκόπιο;
Προς το παρόν όχι. Η διπλή έλικα του DNA συσπειρώνεται στο χώρο και τελικά εμφανίζεται με δύο μορφές. Την κυκλική, που συναντιέται στα βακτήρια, στα μιτοχόνδρια και συχνά στους χλωροπλάστες, και την ευθεία, με την οποία το συναντούμε στους πυρήνες των ευκαρυωτικών κυττάρων.
Ο άλλος λόγος είναι ότι στα ευκαρυωτικά κύτταρα το μόριο του DNA συμμετέχει στη σύνθεση της **χρωματίνης**, μιας νουκλεοπρωτεΐνης που συνίσταται από DNA, από μικρή ποσότητα RNA και από πρωτεΐνες σε ποσοστό που ξεπερνά το 50% του βάρους της. Η χρωματίνη στις διάφορες φάσεις της ζωής του κυττάρου παρουσιάζεται και με διαφορετική μορφή. Όταν το κύτταρο δεν είναι στη φάση της διαίρεσής του, η χρωματίνη παρουσιάζεται με τη μορφή ενός πλέγματος, που λέγεται **δίκτυο χρωματίνης**. Το δίκτυο αυτό αποτελείται από μεμονωμένες ίνες και από κοκκία. Καθεμιά από τις ίνες αυτές είναι το αποτέλεσμα μιας πολύπλοκης περιέλιξης του μορίου του DNA γύρω από τις πρωτεΐνες, οι οποίες μετέχουν στη δομή της χρωματίνης. Όταν το κύτταρο διαιρείται, η χρωματίνη συμπυκνώνεται και παίρνει τελικά τη μορφή δομών, που ονομάζονται **χρωμοσώματα**.

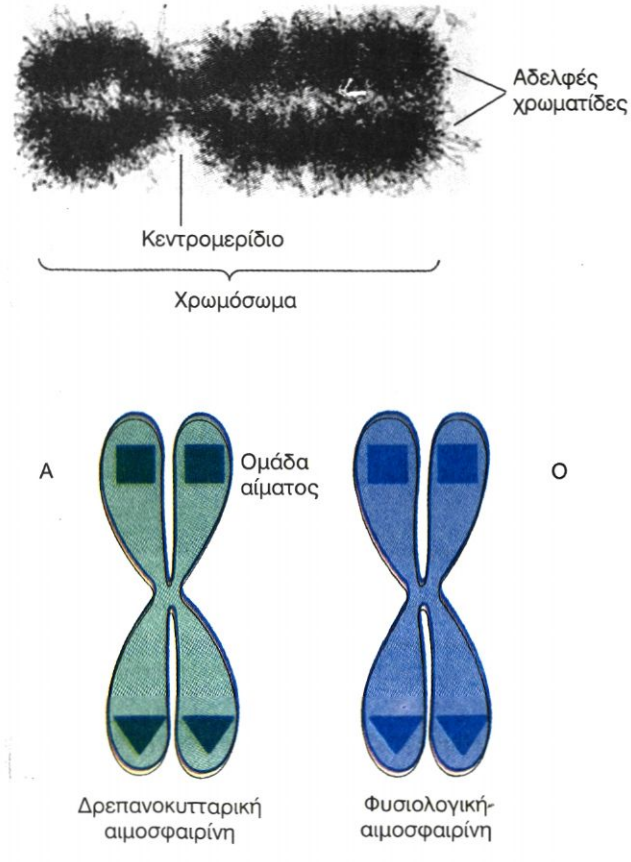
Τα χρωμοσώματα που υπάρχουν στα σωματικά κύτταρα των ανώτερων οργανισμών παρουσιάζονται σε ζευγάρια. Τα χρωμοσώματα που ανήκουν στο ίδιο ζευγάρι χαρακτηρίζονται ως **ομόλογα**. Τα μέλη ενός ζευγαριού ομόλογων χρωμοσωμάτων μορφολογικά



Διαδοχικά στάδια κατά το «πακετάρισμα» του DNA στον πυρήνα των ευκαρυωτικών κυττάρων.

είναι όμοια μεταξύ τους, έχουν δηλαδή ίδιο σχήμα και μέγεθος. Η πιο ενδιαφέρουσα όμως ομοιότητα των ομόλογων χρωμοσωμάτων είναι ότι περιέχουν γονίδια που ελέγχουν το ίδιο γνώρισμα, με τον ίδιο ή με διαφορετικό τρόπο, και επίσης ότι τα γονίδια αυτά εδράζονται στην ίδια θέση (**γονιδιακός τόπος**) και στα δύο χρωμοσώματα. Κύτταρα που έχουν τα χρωμοσώματά τους και συνεπώς τα γονίδιά τους σε ζευγάρια χαρακτηρίζονται ως **διπλοειδή (2η)**, σε αντίθεση με τα κύτταρα που περιέχουν μία απλή σειρά χρωμοσωμάτων και γονιδίων, όπως οι γαμέτες, τα οποία χαρακτηρίζονται ως **απλοειδή (η)**.

Ο αριθμός των χρωμοσωμάτων που υπάρχει στα κύτταρα των διαφορετικών φυτικών και ζωικών ειδών είναι αυστηρά καθορισμένος. Κάθε απόκλιση από αυτόν προκαλεί μεταβολές στα χαρακτηριστικά και διακυμάνσεις στη βιωσιμότητα των οργανισμών ενός είδους που την παρουσιάζει.
Πριν ολοκληρώσουμε τη μελέτη της οργάνωσης του γενετικού υλικού, είναι χρήσιμο να αναρωτηθούμε αν υπάρχει πράγματι ανάγκη το γενετικό υλικό να είναι τόσο πολύπλοκα οργανωμένο. Γνωρίζουμε ότι το DNA είναι ένα γιγαντιαίο μόριο. Αν συνδέεται με πρωτεΐνες, είναι για να τυλίγεται γύρω τους, ώστε να «πακετάρεται» και να χωρά στον περιορισμένο χώρο του πυρήνα.



Δύο γονιδιακοί τόποι: στον έναν εδράζονται τα αλληλόμορφα για την ομάδα αίματος και στον άλλον τα αλληλόμορφα για τη σύνθεση της αιμοσφαιρίνης.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το DNA αποτελεί το γενετικό υλικό των κυττάρων. Η κατεύθυνση με την οποία η γενετική πληροφορία, που είναι καταγραμμένη στο μόριο του DNA, «ρέει» προς τις πρωτεΐνες αποτελεί το κεντρικό δόγμα της Βιολογίας.

Το μόριο του DNA έχει την ιδιότητα να αυτοδιπλασιάζεται και αυτό αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση για τη μεταβίβαση της γενετικής πληροφορίας.
Η κωδικοποιημένη πληροφορία μεταγράφεται σ' ένα άλλο μόριο, το αγγελιαφόρο RNA (mRNA).

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Το αντικωδικόνιο που βρίσκεται στο tRNA συνδέεται (βάλτε σε κύκλο το σωστό):
   α. Με το αμινοξύ
   β. Με το κωδικόνιο του mRNA
   γ. Με το κωδικόνιο του rRNA
   δ. Με το DNA

2. Το DNA φέρει τη γενετική πληροφορία:
   α. Στο σταθερό σκελετό που αποτελείται από σάκχαρα και φωσφορικές ομάδες
   β. Στη μεταβαλλόμενη αλληλουχία των βάσεων
   γ. Στην αναλογία πουρινών - πυριμιδινών
   δ. Σε όλα τα παραπάνω

3. Το κεντρικό δόγμα της Βιολογίας:
   α. Υποστηρίζει ότι η μετάφραση προηγείται της μεταγραφής
   β. Υλοποιείται σε όλα τα ευκαρυωτικά κύτταρα και όχι στα προκαρυωτικά
   γ. Υποστηρίζει ότι η γενετική πληροφορία «ρέει» από τα νουκλεϊνικά οξέα προς τις πρωτεΐνες.
   δ. Τα β και γ είναι σωστά

4. Αν η CAT CAT CAT είναι μια αλληλουχία κωδικονίων του DNA και προστίθεται στην αρχή της μια γουανίνη, τι θα συμβεί;
   α. GCA TCA TCA T
   β. G CAT CAT CAT
   γ. Μια διαφορετική πεπτιδική αλυσίδα
   δ. Τα α και γ είναι σωστά

5. Με βάση τον ακόλουθο πίνακα και το γενετικό κώδικα που υπάρχει στο βιβλίο να συμπληρώσετε τα κενά και να απαντήσετε στις ακόλουθες ερωτήσεις:

α. Κλώνος DNA		T							A			G					G				T	A	C				A
β. Κλώνος DNA			C				T	T			C				G			C		C				A		T	
mRNA	A	U								U						A			G						U		
Αμινοξέα				Τρυπτο-φάνη									Τυροσί-νη														

α. Ποιος είναι ο μεταγραφόμενος κλώνος του DNA;
β. Πόσα αμινοξέα κωδικοποιεί;

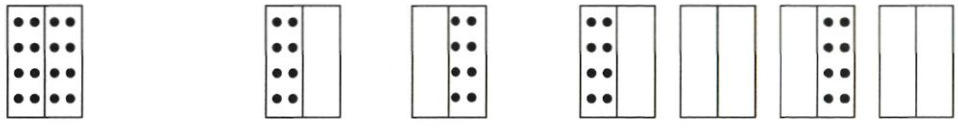
6. Ένα τμήμα DNA έχει 10 φωσφοδιεστερικούς δεσμούς και 15 δεσμούς υδρογόνου. Πόσες A, G, C, T περιέχει; (Σημ.: Φωσφοδιεστερικός ονομάζεται ο ομοιοπολικός δεσμός που συνδέει τα νουκλεοτίδια, το ένα μετά το άλλο, στο μόριο του νουκλεϊνικού οξέος).

7. Ένα τμήμα DNA του βακτηρίου E. coli αποτελείται από 12.000 νουκλεοτίδια. Πόσα αμινοξέα μπορούν να κωδικοποιηθούν από αυτό το τμήμα; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

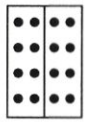
8. Ένα τμήμα DNA του βακτηρίου E. coli αποτελείται από $2,4 \times 10^6$ νουκλεοτίδια. Αν το μέσο Μ.Β. των αμινοξέων είναι 100, πόσες διαφορετικές πρωτεΐνες Μ.Β. = 40.000 μπορεί να κωδικοποιήσει αυτό το μόριο DNA;

9. Ο τρόπος με τον οποίο αυτοδιπλασιάζεται το DNA ονομάζεται ημισυντηρητικός. Ένας άλλος τρόπος αυτοδιπλασιασμού θα μπορούσε να είναι ο συντηρητικός. Κατ' αυτό τον τρόπο αυτοδιπλασιασμού το αρχικό μόριο θα αποτελούσε πρότυπο για τη σύνθεση του νέου μορίου, που με τη σειρά του θα αποτελούνταν μόνο από τις δύο νέες πολυνουκλεοτιδικές αλυσίδες. Στο σχήμα απεικονίζεται ο ημισυντηρητικός τρόπος αυτοδιπλασιασμού του DNA.

Αρχικό μόριο 1η θυγατρική γενιά 2η θυγατρική γενιά



Αν το αρχικό μόριο του DNA απεικονίζεται όπως παρακάτω, σχεδιάστε αντίστοιχα τα μόρια του DNA της 1ης θυγατρικής και της 2ης θυγατρικής γενιάς, που θα προκύψουν από δύο διαδοχικούς αυτοδιπλασιασμούς με συντηρητικό τρόπο.



10. Υπάρχει μια φαρμακευτική ουσία η οποία ενεργεί μειώνοντας την κυτταρική παραγωγή ενός ενζύμου, που είναι απαραίτητο στα ηπατικά κύτταρα, για να συνθέσουν χοληστερόλη. Κατά την άποψή σας, σε ποιες κυτταρικές διαδικασίες μπορεί να παρεμβαίνει η ουσία αυτή;

11. Αν ένα τμήμα του μη μεταγραφόμενου κλώνου ενός μορίου DNA περιέχει την ακόλουθη διαδοχή αζωτούχων βάσεων να απαντήσετε στις ακόλουθες ερωτήσεις:
– ATG – CCT – TTA – AAA – CGA – TCC – GTA – CAC – TCG – TGA –
α. Ποιος είναι ο μεταγραφόμενος κλώνος DNA;
β. Ποιο είναι το τμήμα mRNA που συντίθεται;
γ. Το πρωτεϊνικό τμήμα που παράγεται από πόσα αμινοξέα αποτελείται;
δ. Ποιο είναι το σύνολο των δεσμών Η που υπάρχουν σ' αυτό το τμήμα DNA;
ε. Αν η παραγόμενη πρωτεΐνη εντοπίζεται στην πλασματική μεμβράνη ενός ζωικού κυττάρου, ποια είναι τα οργανίδια που συμμετείχαν με οποιοδήποτε τρόπο στην παραγωγή της και τη μεταφορά της στη συγκεκριμένη θέση;

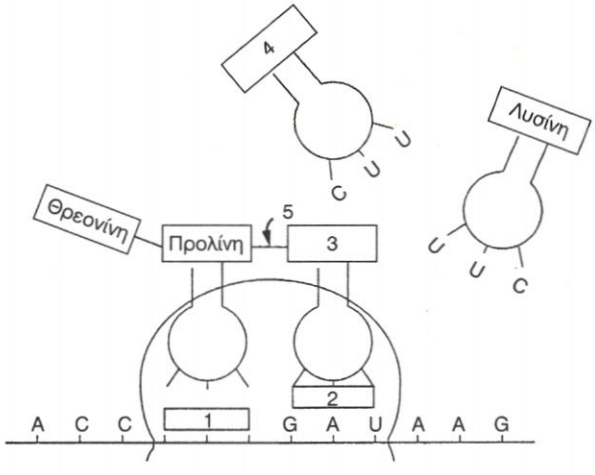
12. Ποιο ρόλο παίζουν οι ακόλουθες κυτταρικές δομές στην αποθήκευση, έκφραση, μεταφορά της γενετικής πληροφορίας: α) πυρηνίσκος, β) χρωματίνη, γ) ριβόσωμα, δ) κεντροσωμάτιο.

13. α. Να διαβάσετε το παρακάτω κείμενο και να συμπληρώσετε τα κενά:
Ένα μόριο DNA αποτελείται από πολλά μονομερή, που ονομάζονται νουκλεοτίδια. Κάθε νουκλεοτίδιο αποτελείται από μια ..... βάση, που συνδέεται με ένα σάκχαρο, τη ....., και μια φωσφορική ομάδα. Το DNA αποτελείται από δυο αλυσίδες, που συνδέονται με δεσμούς ....., που διασπώνται ενζυμικά κατά τον αυτοδιπλασιασμό του. Στο RNA η αζωτούχα βάση ..... αντικαθίσταται από την ..... και το σάκχαρο που υπάρχει είναι η ..... Στα κύτταρα υπάρχουν τρεις κατηγορίες RNA. Ένα είδος RNA, το ....., που βρίσκεται σε υψηλή συγκέντρωση σε μια ειδική περιοχή του πυρήνα, τον ....., όπου και συντίθεται. Οι πυρηνικοί πόροι, που βρίσκονται στον πυρηνικό φάκελο, επιτρέπουν στο ..... RNA να περάσει και να πάει να τοποθετηθεί στα ....., που βρίσκονται στην εξωτερική επιφάνεια των αγωγών του αδρού ενδοπλασματικού δικτύου. Η τρίτη κατηγορία του RNA είναι το ..... RNA, που μεταφέρει τα αμινοξέα στα ριβοσώματα.

β. Η ανάλυση ενός δείγματος DNA από ιστό έδειξε ότι το ποσοστό της αδενίνης ήταν 38%. Ποιο είναι το ποσοστό της γουανίνης; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

14. α. i) Πώς ονομάζεται η διαδικασία σύνθεσης του mRNA;
ii) Πότε γίνεται και σε ποια οργανίδια;
Ο πίνακας που ακολουθεί έχει τα κωδικόνια που αντιστοιχούν σε επτά αμινοξέα.

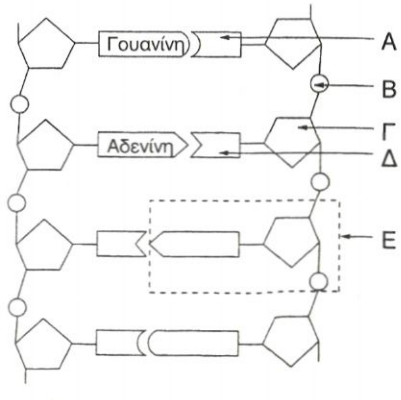
Αμινοξύ	Κωδικόνιο
Ασπαρτικό οξύ	GAU
Φαινυλαλανίνη	UUC
Λυσίνη	AAG
Προλίνη	CCU
Θρεονίνη	ACC
Βαλίνη	GUA
Γλουταμινικό οξύ	GAA



β. Μια γονιδιακή μετάλλαξη μπορεί να καταλήξει στην αλλαγή της πρωτοταγούς δομής της πολυπεπτιδικής αλυσίδας. Για παράδειγμα, στη δρεπανοκυτταρική αναιμία η β πολυπεπτιδική αλυσίδα της αιμοσφαιρίνης Α περιέχει τη βαλίνη αντί του γλουταμινικού οξέος. Χρησιμοποιώντας τον παραπάνω πίνακα, περιγράψτε επακριβώς, με αναφορά στο μόριο του DNA, σε τι συνίσταται η γονιδιακή μετάλλαξη.

γ. Χρησιμοποιώντας τον πίνακα και το σχήμα που δίνονται παραπάνω γράψτε:
i) Το κωδικόνιο στο 1
ii) Το αντικωδικόνιο στο 2
iii) Το αμινοξύ στο 3
iv) Το αμινοξύ στο 4
v) Το δεσμό που σχηματίζεται στο 5

15. Το σχήμα παριστάνει ένα τμήμα DNA:
α. Τι παριστάνουν τα Α-Ε;
β. Γιατί ο αυτοδιπλασιασμός του DNA έγεται ημισυντηρητικός;
γ. Ποια οργανίδια περιέχουν DNA;
δ. Με αναφορά στο DNA, τι ονομάζεται γονίδιο;



4.3 ΚΥΤΤΑΡΙΚΗ ΔΙΑΙΡΕΣΗ

Κάτι πολύ ενδιαφέρον, που ίσως δεν το έχουμε ποτέ αναλογιστεί, είναι ότι στον οργανισμό μας παράγονται διαρκώς νέα κύτταρα. Στο χρόνο που χρειάζεται για να ολοκληρώσουμε τη μελέτη αυτής της σελίδας θα έχουν παραχθεί στο σώμα μας ένα δισεκατομμύριο περίπου νέων κυττάρων. Καθένα από αυτά είναι προϊόν μιας κυτταρικής διαίρεσης, δηλαδή της διαδικασίας με την οποία πολλαπλασιάζονται τα κύτταρα.

Αφού όμως τα κύτταρα αποτελούν τη θεμελιώδη μονάδα της ζωής, κάθε διαδικασία που γίνεται σ' αυτά πρέπει να αποτελεί την αφετηρία για μια αντίστοιχη διαδικασία του οργανισμού. Αν λοιπόν η συστολή των μυϊκών κυττάρων είναι η αφετηρία της κίνησης, η κυτταρική διαίρεση είναι η αφετηρία της ανάπτυξης και της αναπαραγωγής των οργανισμών.

Πιο συγκεκριμένα, με κυτταρική διαίρεση επιτελείται:

- η μονογονική αναπαραγωγή των οργανισμών, κατά την οποία το νέο ή τα νέα άτομα προέρχονται από ένα μόνο γονέα,
- η αμφιγονική αναπαραγωγή των οργανισμών, κατά την οποία το νέο άτομο είναι προϊόν γονιμοποίησης, συνένωσης δηλαδή δύο εξειδικευμένων κυττάρων (γαμετών), που προέρχονται από γονείς διαφορετικού φύλου,
- η αύξηση του αριθμού των κυττάρων και συνεπώς η ανάπτυξη των πολυκύτταρων οργανισμών,
- η αντικατάσταση των νεκρών, κατεστραμμένων ή γηρασμένων κυττάρων στους ιστούς με άλλα όμοια με αυτά.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

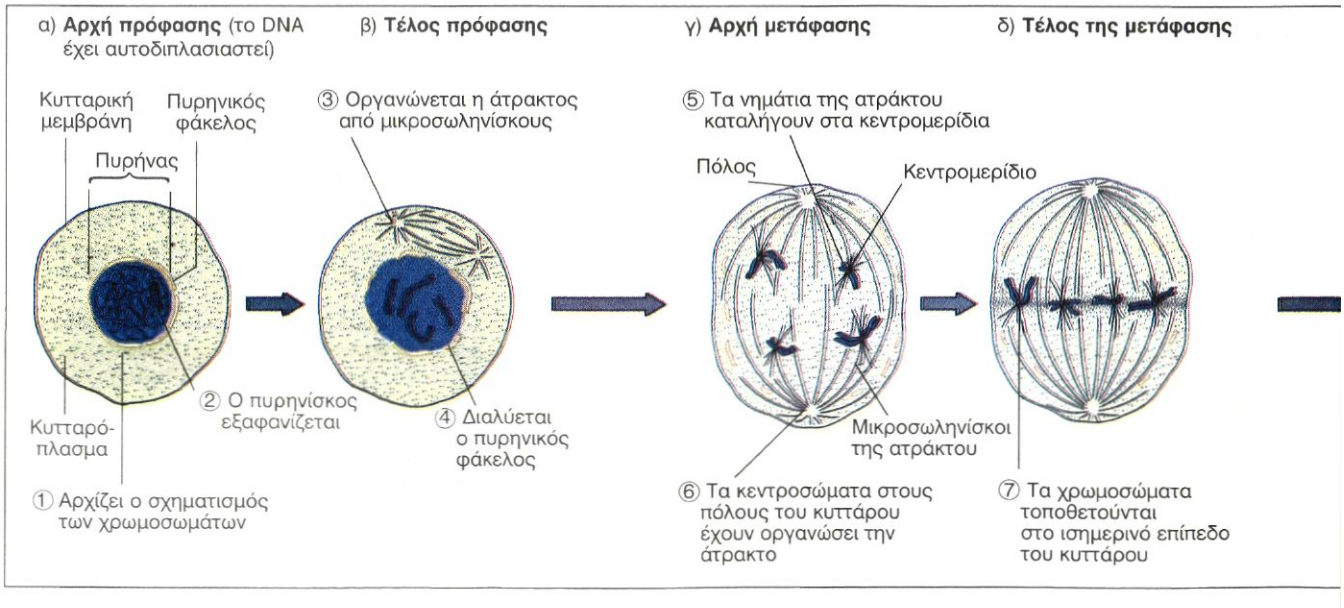
Γιατί κύτταρα διαφορετικού τύπου, του ίδιου οργανισμού (π.χ. του ανθρώπου), παρουσιάζουν διαφορετικό ρυθμό στη μεταγραφή και στη μετάφραση;

Ο βασικός τύπος κυτταρικής διαίρεσης στα ευκαρυωτικά κύτταρα είναι η **μίτωση**. Ωστόσο οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί, που παράγονται αμφιγονικά, έχουν αναπτύξει και μια πιο εξελιγμένη παραλλαγή της, τη **μείωση**, με την οποία παράγουν τους απλοειδείς γαμέτες τους. Στους προκαρυωτικούς οργανισμούς η κυτταρική διαίρεση είναι απλούστερη, γίνεται με διχοτόμηση, και δεν έχει τα χαρακτηριστικά της μίτωσης.

Μίτωση

Το 1879 ένας Γερμανός ανατόμος, ο Β. Φλέμινγκ, ανακάλυψε ότι στον πυρήνα υπάρχει ένα χαρακτηριστικό νηματοειδές υλικό. Παρατηρώντας μάλιστα τα κύτταρα σε διάφορα στάδια της ζωής τους, παρατήρησε

Φάσεις της μίτωσης σε ζωικό κύτταρο σχηματικά.



ότι τα νημάτια που συνιστούν αυτό το υλικό, αφού βραχυνθούν και παχυνθούν, κόβονται, για να διανεμηθούν στους απογόνους του κυττάρου. Την ακολουθία αυτών των φαινομένων την ονόμασε **μίτωση**, από την ελληνική λέξη ***μίτος***, που σημαίνει «νήμα». Σήμερα γνωρίζουμε ότι τα νημάτια του Β. Φλέμινγκ είναι τα χρωμοσώματα, οι φορείς των γονιδίων, και ότι η μίτωση είναι ο βασικός τύπος διαίρεσης των ευκαρυωτικών κυττάρων.
Η μίτωση είναι το συντομότερο αλλά και εντυπωσιακότερο τμήμα του κυτταρικού κύκλου, που οδηγεί τελικά στη δημιουργία δύο πανομοιότυπων μεταξύ τους (όσο και με το μητρικό) θυγατρικών κυττάρων. Αυτό διασφαλίζεται με δύο διαδοχικές διαδικασίες, την **πυρηνική διαίρεση** και την **κυτταροπλασματική διαίρεση**, που συμβαίνουν στη διάρκεια της μίτωσης.

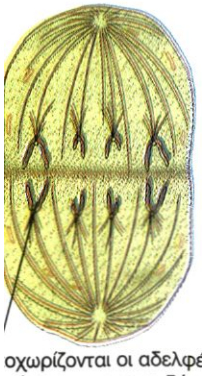
Κατά τη διάρκεια της πυρηνικής διαίρεσης γίνεται ακριβοδίκαιη διανομή γενετικού υλικού στους δύο θυγατρικούς πυρήνες.
Κατά τη διάρκεια της κυτταροπλασματικής διαίρεσης το κυτταρόπλασμα του μητρικού κυττάρου μοιράζεται στα δύο θυγατρικά κύτταρα, έτσι ώστε το καθένα να αποκτήσει το απαραίτητο κυτταρόπλασμα και οργανίδια.

Πυρηνική διαίρεση

Η πυρηνική διαίρεση είναι ένα συνεχές φαινόμενο και μόνο για να διευκολυνθούμε στη μελέτη και την περιγραφή του, το χωρίζουμε σε στάδια. Τα στάδια αυτά για τα περισσότερα ευκαρυωτικά κύτταρα είναι τέσσερα: η **πρόφαση**, η **μετάφαση**, η **ανάφαση** και η **τελόφαση**. Ας τα δούμε ένα ένα:

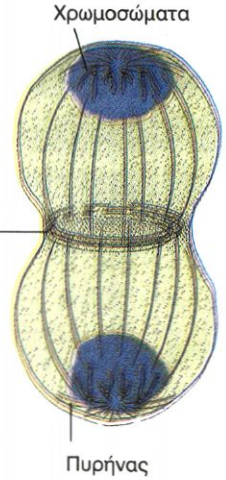
Πρόφαση: Είναι το μεγαλύτερο σε διάρκεια: στάδιο της μίτωσης. Στη διάρκειά της τα ινίδια της χρωματίνης αρχίζουν να περιελίσσονται και να συμπυκνώνονται, για να πάρουν τη χαρακτηριστική μορφή των χρωμοσωμάτων. Κάθε χρωμόσωμα αποτελείται από δύο αδελφές χρωματίδες, ενωμένες στο κεντρομερίδιο. Επειδή οι αδελφές χρωματίδες είναι αποτέλεσμα του αυτοδιπλασιασμού του γενετικού υλικού, που έγινε κατά τη μεσόφαση, αποτελούνται (η καθεμιά) από ένα δίκλωνο μόριο DNA και είναι γενετικά όμοιες. Ο λόγος για τον οποίο το γενετικό υλικό του κυττάρου «πακετάρεται» σε χρωμοσώματα είναι απλός:
δεν πρέπει να σπάσει ούτε να χαθεί τίποτε κατά τη μεταφορά του γενετικού υλικού στα θυγατρικά κύτταρα. Στη συνέχεια σχηματίζεται η άτρακτος. Αυτό στα ζωικά κύτταρα γίνεται με τη βοήθεια του κεντροσωματίου, που έχει ήδη διπλασιαστεί κατά τη μεσόφαση. Τα δύο κεντροσωμάτια μετακινούνται προς τους δύο πόλους. Από κάθε κεντροσωμάτιο προβάλλουν ακτινωτά νημάτια, οι **μικροσωληνίσκοι**, που σιγά σιγά σχηματίζουν την **άτρακτο**. Στα φυτικά κύτταρα είναι προφανές ότι η άτρακτος δεν οργανώνεται από κεντροσωμάτια, αφού δε διαθέτουν τέτοια.
Ο πυρηνικός φάκελος και ο πυρηνίσκος απο-διοργανώνονται, επιτρέποντας στους μικροσωληνίσκους να εισβάλουν στο χώρο που καταλάμβανε ο πυρήνας και

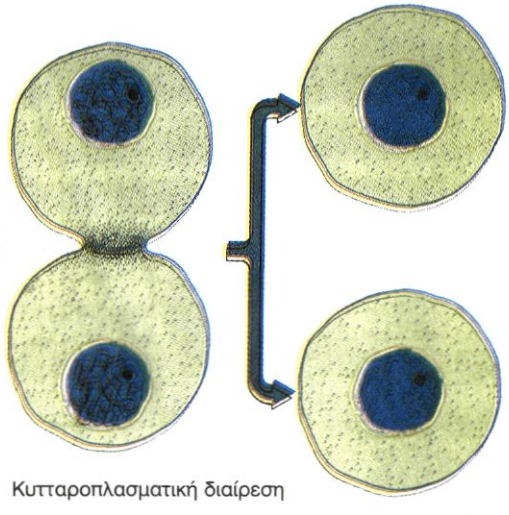
ε) **Ανάφαση**



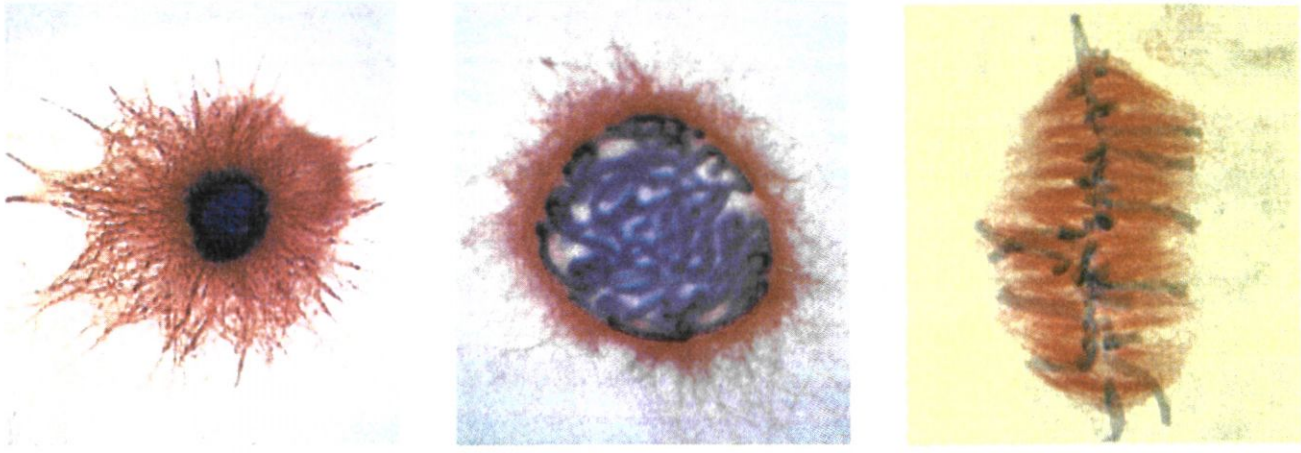
οχωρίζονται οι αδελφές χρωματίδες και μετα-
ούνται προς τους δύο πόλους έτσι, ώστε
θένα από τα θυγατρικά κύτταρα να διαθέτει
ι πλήρη σειρά χρωμοσωμάτων.

στ) **Τελόφαση**





Κυτταροπλασματική διαίρεση



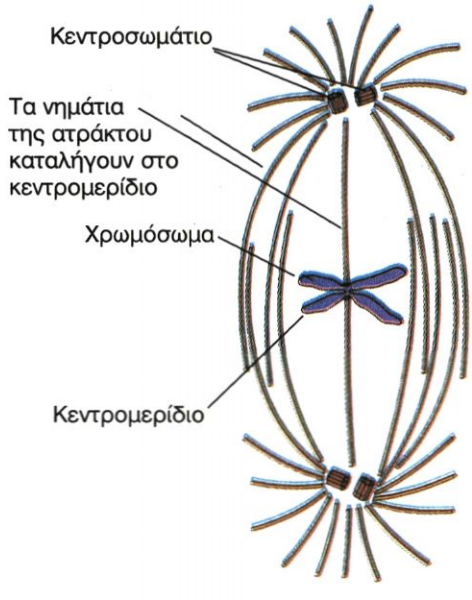
Οι φάσεις της μίτωσης όπως φαίνονται στο μικροσκόπιο.

να ενωθούν με τα κεντρομερίδια των χρωμοσωμάτων.

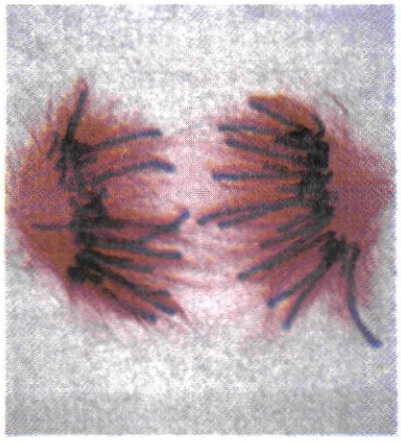
Μετάφαση: Με την έναρξή της τα χρωμοσώματα εγκαταλείπουν τις τυχαίες θέσεις που καταλάμβαναν κατά την πρόφαση και αρχίζουν να μετακινούνται κατά μήκος των νηματίων της ατράκτου, προς το **ισημερινό επίπεδο του κυττάρου**.
Στο τέλος αυτής της φάσης τα χρωμοσώματα έχουν φτάσει στο ισημερινό επίπεδο, με τις αδελφές χρωματίδες κάθε χρωμοσώματος να έχουν τοποθετηθεί παράλληλα προς αυτό.
Κατά τη μετάφαση συνεχίζεται η συμπύκνωση της χρωματίνης. Στο τέλος της τα χρωμοσώματα έχουν το μέγιστο βαθμό συμπύκνωσης· γι' αυτό είναι περισσότερο διακριτά από όσο σε κάθε άλλο στάδιο του κυτταρικού κύκλου. Γι' αυτό το λόγο η παρατήρηση, η φωτογράφηση , όπως και κάθε άλλη διαδικασία που αφορά τη μελέτη της δομής, το μήκος ή τον αριθμό

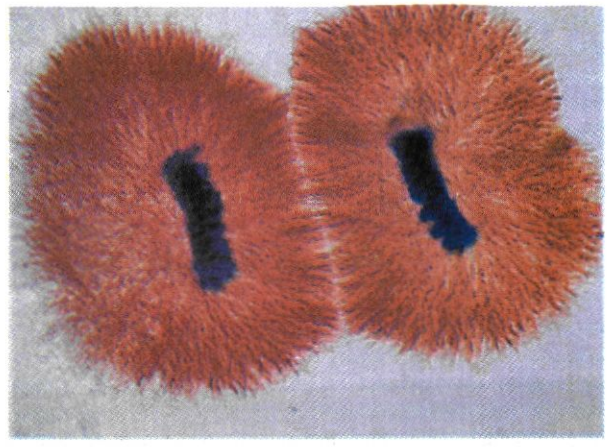
Κίνηση των χρωματίδων που έλκονται από τα νημάτια της ατράκτου κατά την ανάφαση.

α) Η άτρακτος



β) Τα νημάτια της ατράκτου έλκουν τα κεντρομερίδια





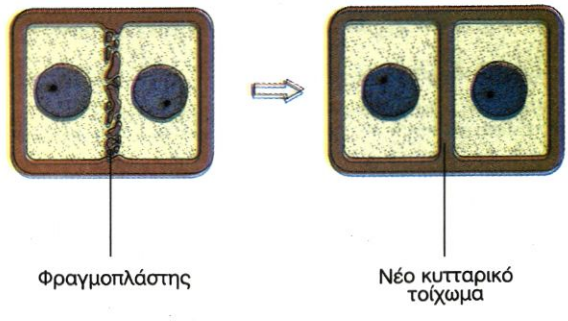
των χρωμοσωμάτων γίνονται κατά τη διάρκειά της.

Ανάφαση: Αρχίζει με τη διαίρεση του κεντρομεριδίου κάθε χρωμοσώματος. Με την ολοκλήρωση αυτής της διαίρεσης καθεμιά από τις αδελφές χρωματίδες ανεξαρτητοποιείται από την άλλη. Οι μικροσωληνίσκοι της ατράκτου ασκούν αντίθετη έλξη στα δημιουργούμενα κεντρομερίδια και έτσι οι δύο αδελφές χρωματίδες αποχωρίζονται, σαν να κινούνται πάνω σε ράγες τρένου, προς αντίθετο πόλο η καθεμιά. Από το σημείο αυτό θεωρούμε ότι κάθε χρωματίδα αποτελεί πλέον ένα ανεξάρτητο χρωμόσωμα.

Τελόφαση: Όταν καθεμιά από τις δύο πλήρεις σειρές χρωμοσωμάτων, που δημιουργήθηκαν κατά την ανάφαση, φθάσει στον πόλο του κυττάρου προς τον οποίο κατευθυνόταν, αρχίζει το τελικό στάδιο της πυρηνικής διαίρεσης, η τελόφαση. Στη διάρκειά της συμβαίνουν οι ακριβώς αντίστροφες διαδικασίες από αυτές που συνέβησαν στην πρόφαση.
Η άτρακτος αποδιοργανώνεται και επανεμφανίζονται οι πυρηνικοί φάκελοι. Δημιουργούνται έτσι δύο θυγατρικοί πυρήνες. Σε καθέναν από αυτούς τα χρωμοσώματα επανέρχονται στη μορφή του δικτύου χρωματίνης της μεσόφασης και επανασχηματίζεται ο πυρηνίσκος.

Κυτταροπλασματική διαίρεση

Με τη διαδικασία της πυρηνικής διαίρεσης δημιουργούνται δύο γενετικά πανομοιότυποι πυρήνες, που μοιράζονται ωστόσο το ίδιο κυτταρόπλασμα. Για να ολοκληρωθεί συνεπώς η μίτωση, πρέπει να διαιρεθεί και το κυτταρόπλασμα, ώστε να σχηματιστούν δύο αυτοτελή κύτταρα. Αυτό γίνεται με τη διαδικασία της κυτταροπλασματικής διαίρεσης, κατά την οποία διανέμεται το κυτταρόπλασμα στα δύο θυγατρικά κύτταρα.
Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται αυτό εξαρτάται από το είδος του κυττάρου. Στα ζωικά κύτταρα, στο ύψος του ισημερινού επιπέδου του κυττάρου, σχηματίζεται ένας περιφερικός δακτύλιος από ινίδια ακτίνης. Ο δακτύλιος αυτός με την πάροδο του χρόνου στενεύει όλο και περισσότερο, ώσπου να διχοτομήσει τελικά το κύτταρο (αυλάκωση).
Στα ανώτερα φυτικά κύτταρα η κυτταροπλασματική διαίρεση γίνεται με εντελώς διαφορετικό τρόπο. Ήδη, από το τέλος της ανάφασης, στην περιοχή του ισημερινού επιπέδου αρχίζει να δημιουργείται από μικροσωληνίσκους ένα πλέγμα, ο **φραγμοπλάστης**. Από το φραγμοπλάστη θα προκύψουν τα κυτταρικά τοιχώματα των δύο θυγατρικών κυττάρων.



Διαίρεση του κυτταροπλάσματος σε φυτικό κύτταρο.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Μια χημική ουσία (cytochalasin B) εμποδίζει την κυτταροπλασματική διαίρεση, καταστρέφοντας τα μικροϊνίδια του περιφερικού δακτυλίου. Ποιες συνέπειες μπορεί να έχει αυτό για τη μίτωση;

Η διάρκεια του κυτταρικού κύκλου αλλά και η διάρκεια καθεμιάς από τις φάσεις του εξαρτώνται από τον τύπο του κυττάρου αλλά και από εξωτερικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία, η παροχή θρεπτικών ουσιών, οξυγόνου κ.ά. Μερικά κύτταρα ολοκληρώνουν τον κυτταρικό τους κύκλο σύντομα και αυτό τους επιτρέπει να διαιρούνται με μεγάλη συχνότητα. Άλλα, όπως τα νευρικά κύτταρα, από τη στιγμή που θα δημιουργηθούν, διαιρούνται σπάνια ή και καθόλου.

Η βιολογική σημασία της μίτωσης

Ένα ζωγραφικό πίνακα τον αξιολογούμε καλύτερα, αν κάνουμε ένα βήμα πίσω, ώστε να τον αντικρίσουμε συνολικά. Παρόμοια στη μίτωση μια απομάκρυνση από τις λεπτομέρειές της ίσως βοηθήσει να κατανοήσουμε καλύτερα τη μεγάλη βιολογική σημασία της. Αν παραλείψουμε λοιπόν τα ενδιάμεσα στάδια και εστιάσουμε την προσοχή μας μόνο στο αρχικό κύτταρο και στα δύο θυγατρικά του, τότε θα παρατηρήσουμε ότι έχουν μια σημαντική ομοιότητα. Και τα τρία είναι ταυτόσημα από γενετική άποψη, γιατί καθένα από τα δύο θυγατρικά πήρε τη μία από τις δύο αδελφές χρωματίδες κάθε χρωμοσώματος του μητρικού κυττάρου.

Η μίτωση δηλαδή είναι μια διαδικασία που ευνοεί τη γενετική σταθερότητα και για το λόγο αυτό άλλωστε αποτελεί τη διαδικασία με την οποία γίνεται:

- Η μονογονική αναπαραγωγή των μονοκύτταρων και των πολυκύτταρων ευκαρυωτικών οργανισμών (π.χ. η βλαστητική αναπαραγωγή των φυτών με παραφυάδες, οφθαλμούς κτλ.). Οι απόγονοί τους έχουν τον ίδιο αριθμό και το ίδιο είδος χρωμοσωμάτων με τους προγόνους τους.
- Η ανάπτυξη των πολυκύτταρων οργανισμών και η ανανέωση των κυττάρων τους. Τα κύτταρα που προστίθενται στον αναπτυσσόμενο οργανισμό, ή αντικαθιστούν κατεστραμμένα ή γηρασμένα, έχουν ίδιο αριθμό και είδος χρωμοσωμάτων με τα κύτταρα από τα οποία προήλθαν.

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΥΤΤΑΡΩΝ

Ο χρόνος που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί ένας πλήρης κυτταρικός κύκλος, διαφέρει στα κύτταρα διαφορετικού είδους του ίδιου οργανισμού. Εξαρτάται, σε μεγάλο βαθμό, από τη λειτουργία την οποία επιτελεί το κύτταρο στον οργανισμό.

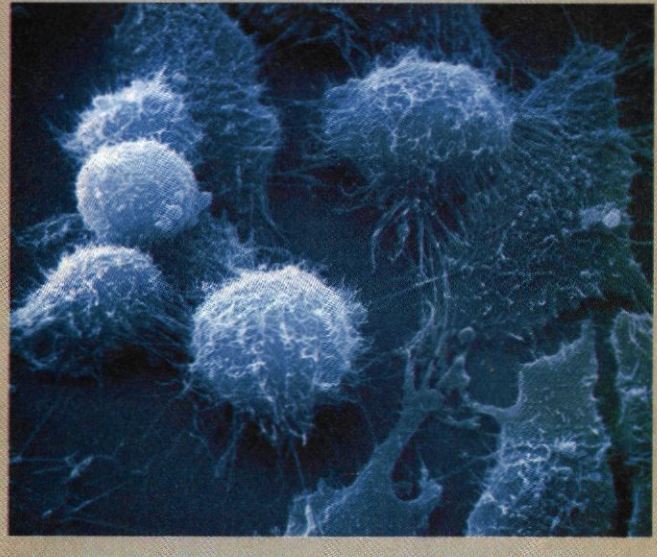
Είδος κυττάρου	*Χρόνος σε ώρες*
Πρώιμα κύτταρα μυελού των οστών.	*18*
Κύτταρα που καλύπτουν εσωτερικά το παχύ έντερο.	*39*
Κύτταρα που καλύπτουν εσωτερικά το ορθό.	*48*
Γονιμοποιημένο ωάριο.	*36-60*
Καρκινικά κύτταρα στομάχου.	*72*

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Υπάρχει μια χημική ουσία, η κολχικίνη, την οποία παίρνουμε από τους σπόρους ενός μικρού φυτού που μοιάζει με κρόκο. Η ουσία αυτή χρησιμοποιείται στα βιολογικά εργαστήρια λόγω της ιδιότητάς της να εμποδίζει το σχηματισμό της ατράκτου. Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί, με δεδομένο ότι η κολχικίνη δε θανατώνει τα κύτταρα, ποια στάδια του κυτταρικού κύκλου θα υποστούν μεταβολές και ποια θα μείνουν ως έχουν;

ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑ ΚΥΤΤΑΡΩΝ ΣΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ

Είναι δύσκολο να παρατηρήσουμε τη διαίρεση των κυττάρων σε ένα ζωντανό οργανισμό. Γι' αυτό το μεγαλύτερο μέρος των γνώσεων που διαθέτουμε σήμερα προέρχεται από τη μελέτη ***κυττάρων σε καλλιέργεια****. Για να αναπτυχθούν κύτταρα στο εργαστήριο, πρέπει να τους εξασφαλίσουμε κατάλληλες συνθήκες. Χρειάζονται θρεπτικές ουσίες, ορμόνες, παράγοντες ανάπτυξης, ενώ πρέπει να απομακρύνονται οι άχρηστες ουσίες του μεταβολισμού τους. Ορισμένα είδη κυττάρων, όπως τα ερυθρά αιμοσφαίρια, μετακινούνται ελεύθερα μέσα στο θρεπτικό υλικό. Οι περισσότεροι όμως τύποι κυττάρων προσκολλώνται στον πυθμένα των ειδικών δοχείων, όπου γίνονται οι καλλιέργειες. Εκεί σχηματίζουν μια μονή στιβάδα κυττάρων. Ο ρυθμός με τον οποίο πολλαπλασιάζονται εξαρτάται από το είδος των κυττάρων.*



Κύτταρα «Hela» που αναπτύσσονται σε καλλιέργεια. Φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.

Μεγάλη δυσκολία στις πρώτες προσπάθειες για την καλλιέργεια κυττάρων σπονδυλωτών ήταν ότι τα κύτταρα αυτά, ύστερα από 50 περίπου διαιρέσεις, αρχίζουν να εκφυλίζονται και πεθαίνουν. Οι προσπάθειες που έγιναν, για να αντιμετωπισθούν οι δυσκολίες που προκαλούσε αυτό το γεγονός, έδωσαν επιστημονική πληροφόρηση, που βοήθησε τους επιστήμονες να αξιοποιήσουν σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό αυτή την τεχνική.

Ένας τρόπος, για να ξεπεραστεί το όριο των 50 διαιρέσεων, είναι να «στρατολογήσουν» καρκινικά κύτταρα, τα οποία μπορούν να διαιρούνται πάνω από 50 φορές. Οι επιστήμονες εκθέτουν τα φυσιολογικά κύτταρα σε εκχύλισμα καρκινικών κυττάρων ή σε ογκογόνους ιούς. Με τον τρόπο αυτό η «αθανασία» των καρκινικών κυττάρων μεταφέρεται στα φυσιολογικά.

Η μεγαλύτερη ίσως προσφορά στην τεχνική των κυτταρο-καλλιεργειών έγινε από μια γυναίκα που έπασχε από καρκίνο στον εγκέφαλο, την Henrietta Lacks. Καρκινικά κύτταρα που ελήφθησαν από αυτήν ήταν τελικά τα πρώτα κύτταρα ανθρώπου που καλλιεργήθηκαν στο εργαστήριο με επιτυχία. Ονομάστηκαν «Hela» από το όνομα της δότριας. Τα «Hela» κύτταρα διαιρούνται σχεδόν κάθε μέρα και αποτελούν πλέον μια κυτταρική σειρά, που χρησιμοποιείται ευρέως στα κυτταρολογικά εργαστήρια.

Μείωση

Το πιο ενδιαφέρον ίσως χαρακτηριστικό της Γενετικής είναι ότι είναι η επιστήμη των αντιθέσεων. Η έκφραση **«τα όμοια γεννούν όμοια»,** που συνοψίζει τη βασική αρχή της κληρονομικότητας ότι οι οργανισμοί μεταβιβάζουν τα χαρακτηριστικά τους στους απογόνους τους, επιβεβαιώνεται από την καθημερινή εμπειρία, όσο επιβεβαιώνονται και οι εξαιρέσεις της. Με τους γονείς μας εμφανίζουμε τα ίδια βασικά ανθρώπινα χαρακτηριστικά, δεν είμαστε όμως πιστά αντίγραφά τους, ούτε μοιάζουμε με τα αδέλφια μας σαν δύο σταγόνες νερό. Τι ακριβώς συμβαίνει;

Στη μονογονική αναπαραγωγή, οι γενετικές πληροφορίες για τη δημιουργία του νέου ατόμου προέρχονται από ένα μοναδικό γονέα. Είναι λοιπόν επόμενο οι απόγονοι, λόγω της πιστότητας της αντιγραφής του γενετικού υλικού και της ακρίβειας της διανομής του με τη μίτωση, να είναι πιστά αντίγραφά του.

Αντίθετα, στην αμφιγονική αναπαραγωγή, τις γενετικές πληροφορίες για τη δημιουργία του νέου ατόμου συνεισφέρουν δύο γονείς διαφορετικού φύλου. Οι απόγονοι επομένως δεν μπορεί να είναι ακριβή αντίγραφα κανενός, αλλά προϊόν γενετικής συμβολής και των δύο.

Εδώ όμως ανακύπτει ένα πρόβλημα. Αν κάθε γονέας μεταβίβαζε στον απόγονό του τον ακριβή αριθμό χρωμοσωμάτων του, το νέο άτομο θα είχε το άθροισμα του αριθμού των χρωμοσωμάτων και των δύο. Ένας τέτοιος όμως απόγονος, ακόμη κι αν επιβίωνε, θα είχε διαφορετικό αριθμό χρωμοσωμάτων από αυτόν που είναι καθορισμένος για το είδος του.

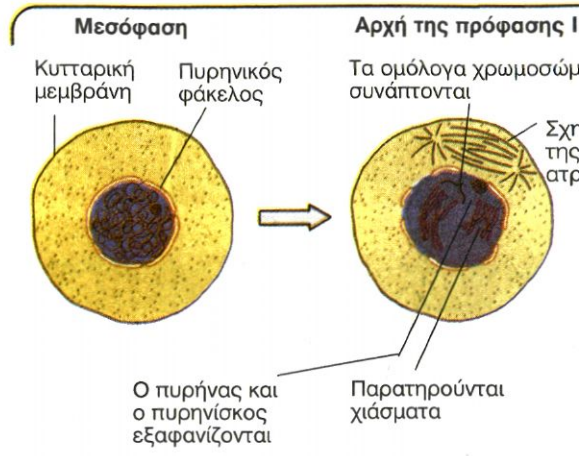
Το πρόβλημα αυτό για τους αμφιγονικά αναπαραγόμενους οργανισμούς λύθηκε στη διάρκεια της εξέλιξης μέσα από δύο μηχανισμούς, τη **μείωση** και τη **γονιμοποίηση**.

Με τη μείωση κάθε γονέας παράγει τους **γαμέτες** του, δηλαδή εξειδικευμένα αναπαραγωγικά κύτταρα, που φέρουν το μισό αριθμό χρωμοσωμάτων από τον κανονικό, είναι δηλαδή απλοειδή.

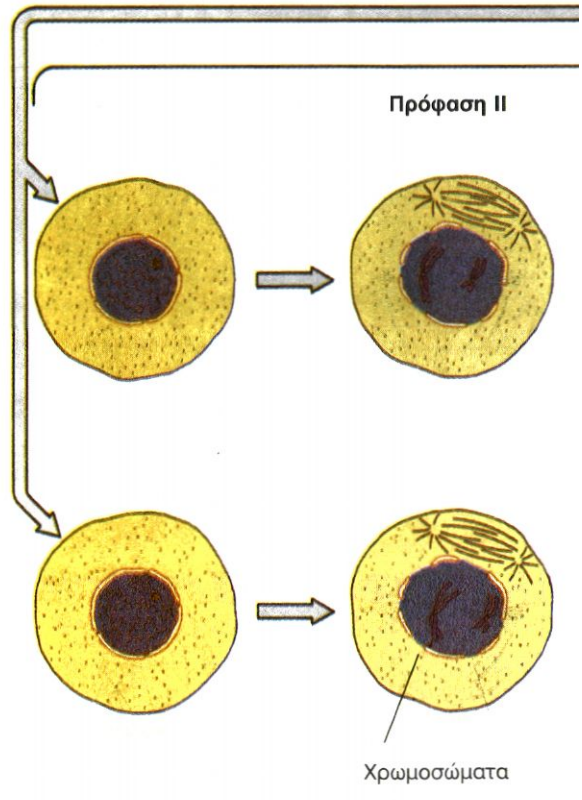
Με τη γονιμοποίηση ο αρσενικός γαμέτης και ο θηλυκός γαμέτης συνενώνονται σε ένα νέο κύτταρο, το **ζυγωτό**, από το οποίο, με συνεχείς μιτωτικές διαιρέσεις, προκύπτει ο νέος οργανισμός. Το κύτταρο αυτό είναι διπλοειδές και, κατ' επέκταση διπλοειδής είναι και ο νέος οργανισμός, αφού η συνένωση των απλοειδών γαμετών επαναφέρει τον αριθμό χρωμοσωμάτων στο κανονικό.

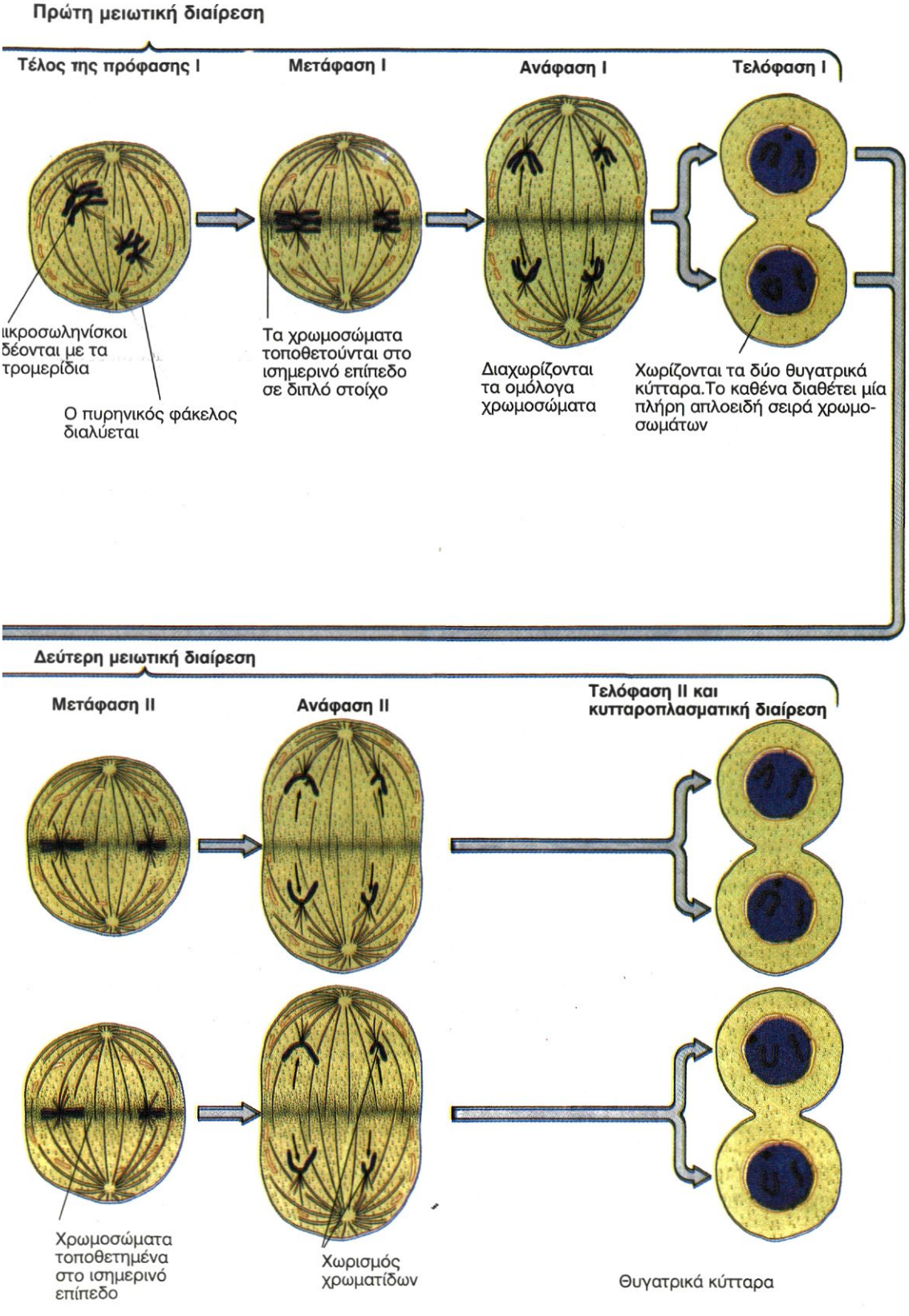
Αξίζει επίσης να σημειωθεί ότι η μείωση δεν αποσκοπεί στην παραγωγή γαμετών που γενικά και αόριστα έχουν το μισό αριθμό χρωμοσωμά-

Σχηματική απεικόνιση των φάσεων της μείωσης.



Την πρώτη μειωτική διαίρεση την ακολουθεί μια δεύτε
χωρίς να γίνει διπλασιασμός του γενετικού υλικού



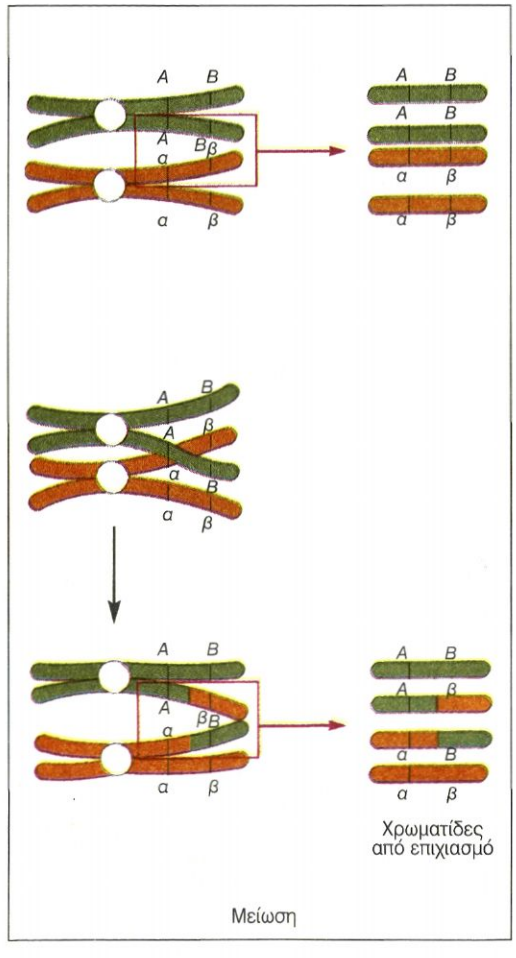

Πρώτη μειωτική διαίρεση
Τέλος της πρόφασης I
Μετάφαση I
Ανάφαση I
Τελόφαση I
ικροσωληνίσκοι
δέονται με τα
τρομερίδια
Ο πυρηνικός φάκελος
διαλύεται
Τα χρωμοσώματα
τοποθετούνται στο
ισημερινό επίπεδο
σε διπλό στοίχο
Διαχωρίζονται
τα ομόλογα
χρωμοσώματα
Χωρίζονται τα δύο θυγατρικά
κύτταρα.Το καθένα διαθέτει μία
πλήρη απλοειδή σειρά χρωμο-
σωμάτων
Δεύτερη μειωτική διαίρεση
Μετάφαση II
Ανάφαση II
Τελόφαση II και
κυτταροπλασματική διαίρεση
Χρωμοσώματα
τοποθετημένα
στο ισημερινό
επίπεδο
Χωρισμός
χρωματίδων
Θυγατρικά κύτταρα

των. Αντίθετα παράγει γαμέτες που έχουν πάρει, από κάθε ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων, υποχρεωτικά τη μία χρωματίδα, η οποία με το τέλος της μείωσης αντιστοιχεί σε ένα χρωμόσωμα.
Ας δούμε πώς γίνονται όλα αυτά κι ακόμη πώς αυτός ο τύπος κυτταρικής διαίρεσης λειτουργεί ως ένας θαυμάσιος μηχανισμός παραγωγής γενετικής ποικιλομορφίας.
Η μείωση γίνεται σε μια ειδική κατηγορία διπλοειδών κυττάρων, που χαρακτηρίζονται ως **άωρα γεννητικά κύτταρα**. Μετά τον αυτοδιπλασιασμό του γενετικού υλικού (καθένα χρωμόσωμα αποτελείται από δύο χρωματίδες), στο κύτταρο που πρόκειται να υποστεί μείωση γίνονται δύο διαδοχικές κυτταρικές διαιρέσεις. Καθεμιά από αυτές περιλαμβάνει μια διαίρεση του πυρήνα και μια διαίρεση του κυτταροπλάσματος. Από την πρώτη κυτταρική διαίρεση, που χαρακτηρίζεται ως **1η μειωτική διαίρεση** ή **μείωση I**, παράγονται δύο κύτταρα. Καθένα από αυτά υφίσταται τη δεύτερη κυτταρική διαίρεση, που χαρακτηρίζεται ως **2η μειωτική διαίρεση** ή **μείωση II**, με αποτέλεσμα την παραγωγή τεσσάρων γαμετών.
Σε ό,τι αφορά τον άνθρωπο, και οι τέσσερις γαμέτες στον άνδρα είναι λειτουργικοί, δηλαδή σπερματοζωάρια. Αντίθετα στη γυναίκα ένας μόνο από τους τέσσερις γαμέτες είναι λειτουργικός, δηλαδή ωάριο.

Πρώτη μειωτική διαίρεση

Πρόφαση I: Είναι το μεγαλύτερο σε διάρκεια στάδιο της μείωσης. Τα γεγονότα που συμβαίνουν στη διάρκειά της είναι τα ακόλουθα:
α. Εμφανίζονται τα χρωμοσώματα, χωρίς όμως να είναι δυνατή, στα αρχικά τουλάχιστον στάδια, η διάκριση των αδελφών χρωματίδων.
β. Τα ομόλογα χρωμοσώματα εγκαταλείπουν τις τυχαίες θέσεις που κατείχαν στο χώρο του πυρήνα, πλησιάζουν και τοποθετούνται το ένα απέναντι στο άλλο. Το φαινόμενο αυτό, που ονομάζεται **σύναψη**, γίνεται με εξαιρετική ακρίβεια, γιατί τα ομόλογα χρωμοσώματα στοιχίζονται έτσι, ώστε οι αντίστοιχοι γονιδιακοί τόποι (δηλ. οι θέσεις στις οποίες εδράζονται τα γονίδια που ελέγχουν το ίδιο γνώρισμα) να είναι ο ένας απέναντι στον άλλο.
γ. Ορισμένες φορές, εξαιτίας της σύναψης, είναι δυνατό οι μη αδελφές χρωματίδες των ομόλογων χρωμοσωμάτων, που έχουν γίνει πια ορατές, να «μπερδευτούν» μεταξύ τους. Έτσι δημιουργούνται τα χαρακτηριστικά και ορατά από το οπτικό μικροσκόπιο **χιάσματα**, στα οποία οι χρωματίδες κόβονται και επανασυγκολλώνται, αφού όμως έχουν ανταλλάξει μεταξύ τους ομόλογα χρωμοσωμικά τμήματα. Το φαινόμενο αυτό, που ονομάζεται **επιχιασμός**, δίνει τη δυνατότητα στα ομόλογα χρωμοσώματα να ανταλλάξουν μεταξύ τους γονίδια. Αυτό εξασφαλίζει γενετική ποικιλότητα στους οργανισμούς που αναπαράγονται με αμφιγονία.
δ. Στο τέλος του σταδίου, όπως και στη μιτωτική πρόφαση, αποδιοργανώνεται ο πυρηνικός φάκελος και εξαφανίζεται ο πυρηνίσκος, ενώ αρχίζει ο σχηματισμός της ατράκτου και η μετακίνηση των ομόλογων χρωμοσωμάτων προς το ισημερινό επίπεδο του κυττάρου.

Μετάφαση I: Κατά τη διάρκειά της τα ζεύγη των ομόλογων χρωμοσωμάτων ολοκληρώ-νουν τη μετακίνησή τους προς το ισημερινό επίπεδο του κυττάρου. Αντίθετα όμως με ό,τι συμβαίνει στη μιτωτική μετάφαση, επειδή το κάθε χρωμόσωμα τοποθετείται απέναντι στο ομόλογό του, ο στοίχος που δημιουργείται δεν είναι στοίχος μεμονωμένων χρωμοσωμάτων αλλά ζευγών ομολόγων. Επειδή στη συνέχεια κάθε χρωμόσω-



Διάγραμμα όπου φαίνονται οι χρωματίδες που προκύπτουν από επιχιασμό.

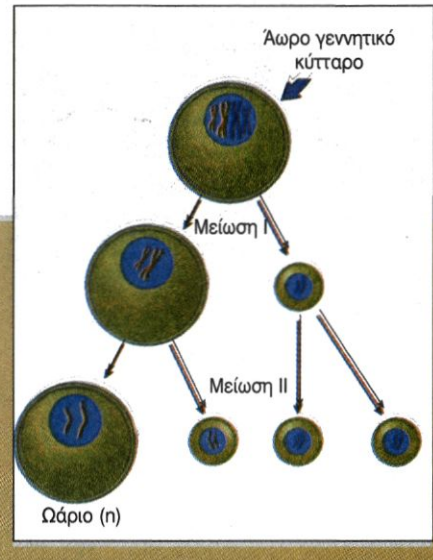
μα από τα μέλη κάθε ζευγαριού ομολόγων μπορεί να κατευθυνθεί είτε προς τον έναν είτε προς τον άλλο πόλο, είναι δυνατός ένας μεγάλος αριθμός διαφορετικών συνδυασμών. Το φαινόμενο αυτό, που λέγεται **ανεξάρτητος συνδυασμός των χρωμοσωμάτων**, είναι ένας μηχανισμός αναδιανομής των γονιδίων που βρίσκονται σε διαφορετικά, μη ομόλογα, χρωμοσώματα. Η άτρακτος έχει πλέον οργανωθεί πλήρως και τα νημάτιά της καταλήγουν στα κεντρομερίδια.

Ανάφαση Ι: Αντίθετα από τη μιτωτική ανάφαση, τα κεντρομερίδια δε διαιρούνται, με απο-τέλεσμα να μην αποχωρίζονται οι αδελφές χρωματίδες. Αποχωρίζονται όμως τα μέλη κάθε ζεύγους ομόλογων χρωμοσωμάτων. Σχηματίζονται έτσι δύο **πλήρεις απλοειδείς σειρές χρωμοσωμάτων**, που απομακρύνονται κατευθυνόμενες προς τους αντίθετους πόλους.

Τελόφαση Ι: Όταν καθεμιά από τις δύο πλήρεις απλοειδείς σειρές χρωμοσωμάτων φτάσει στον πόλο του κυττάρου προς τον οποίο κατευθυνόταν, αρχίζει το τελικό στάδιο, η τελόφαση Ι. Τα περισσότερα κύτταρα, ταυτόχρονα με την τελόφαση Ι, προχωρούν στην κυτταροπλασματική διαίρεση. Από αυτήν παράγονται δύο απλοειδή κύτταρα, στα οποία τα χρωμοσώματα αποτελούνται από δύο αδελφές χρωματίδες ενωμένες στην περιοχή του κεντρομεριδίου.
Την πρώτη μειωτική διαίρεση ακολουθεί η δεύτερη, χωρίς να μεσολαβεί αυτοδιπλασιασμός του γενετικού υλικού πριν από αυτήν.

Δεύτερη μειωτική διαίρεση

Καθένα από τα δύο κύτταρα που προκύπτουν από την 1η μειωτική διαίρεση υφίσταται μια διαίρεση που έχει την ίδια ακολουθία γεγονότων με τη μίτωση. Στο τέλος της έχουν παραχθεί τέσσερα απλοειδή κύτταρα, που έχουν το μισό της ποσότητας του γενετικού υλικού του αρχικού κυττάρου. Αυτό συμβαίνει, γιατί καθένα τους έχει πάρει τη μια αδελφή χρωματίδα από κάθε ζευγάρι ομόλογων χρωμοσωμάτων.



Σχηματισμός ωαρίου.

ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΩΑΡΙΟΥ

Από τη γέννησή της μια γυναίκα διαθέτει στις ωοθήκες της περίπου 200.000 άωρα γεννητικά κύτταρα, που βρίσκονται στο στάδιο της πρόφασης. Κάτω από την επίδραση των γυναικείων ορμονών (οιστρογόνων και προγεστερόνης), γύρω στα δώδεκα χρόνια της, αρχίζει να έχει εμμηνορροϊκό κύκλο (περίοδο) κάθε είκοσι οκτώ ημέρες. Αυτό σημαίνει ότι κάθε μήνα ένα από τα άωρα γεννητικά κύτταρα ολοκληρώνει τον κύκλο της μείωσης για την παραγωγή ωαρίου, που είναι έτοιμο για πιθανή γονιμοποίηση από κάποιο σπερματοζωάριο. Στη διάρκεια της ζωής μιας γυναίκας ωριμάζουν, συνολικά, περίπου τετρακόσια άωρα γεννητικά κύτταρα σε ωάρια. Δηλαδή το άωρο γεννητικό κύτταρο που θα ωριμάσει τελευταίο, για να ολοκληρώσει τον κύκλο της μείωσης, παραμένει στο στάδιο της πρόφασης της πρώτης μειωτικής διαίρεσης πενήντα περίπου χρόνια.

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Πολλοί από αυτούς που πολέμησαν στο Βιετνάμ και οι οποίοι εκτέθηκαν στη δράση χημικών ουσιών (π.χ. ουσιών που κατέστρεφαν τη βλάστηση) παραπονιούνται ότι τα παιδιά τους, που γεννήθηκαν πολύ αργότερα, έχουν εκ γενετής προβλήματα. Για τα προβλήματα αυτά ενοχοποιούν τη διοξίνη, μία από τις ουσίες που χρησιμοποιήθηκαν. Ποια κύτταρα αυτών των ανδρών πιστεύετε ότι προσβλήθηκαν από την ουσία αυτή, ώστε να προκληθούν γενετικά προβλήματα στα παιδιά τους, χρόνια αργότερα; Αιτιολογήστε την απάντησή σας.

Η βιολογική σημασία της μείωσης

Το ερώτημα που αντιμετωπίσαμε στην αρχή του κεφαλαίου ήταν: «Πώς είναι δυνατό να έχουμε τα ίδια βασικά ανθρώπινα χαρακτηριστικά με τα συγγενικά μας πρόσωπα, χωρίς να είμαστε πανομοιότυποι μεταξύ μας;». Τώρα που γνωρίζουμε τις λεπτομέρειες της μείωσης ίσως μπορούμε να το απαντήσουμε.

Η μείωση σε συνδυασμό με τη γονιμοποίηση διασφαλίζει στο δημιουργούμενο ζυγωτό μια πλήρη διπλοειδή σειρά χρωμοσωμάτων και γονιδίων. Έτσι ο οργανισμός που θα προέλθει από αυτό εκδηλώνει, όπως οι γονείς του και τα αδέλφια του, το σύνολο των βασικών γνωρισμάτων που προσδιορίζει το είδος τους.

Ταυτόχρονα όμως κάθε οργανισμός έχει πάρει από τους γονείς του, μέσω των γαμετών τους, μια συλλογή χρωμοσωμάτων και γονιδίων, που είναι απίθανο να υπάρχει σε κάποιο από τα αδέλφια του. Αυτή η μοναδική συλλογή αποκτάται, όπως είδαμε, χάρη στους δύο μηχανισμούς, τον **ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων** και τον **επιχιασμό**.

Χάρη στον ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων δημιουργείται ένα πλήθος από νέους συνδυασμούς μη ομόλογων χρωμοσωμάτων και συνεπώς ένα πλήθος από νέους συνδυασμούς γονιδίων, που βρίσκονται σε μη ομόλογα χρωμοσώματα.

Η απλοειδής σειρά χρωμοσωμάτων συμβολίζεται με **n**. Η διπλοειδής, αντίστοιχα, συμβολίζεται με **2n**. Στον άνθρωπο για παράδειγμα, n=23 και 2n=46.

Όταν ένα κύτταρο με 2n χρωμοσώματα υφίσταται μείωση για την παραγωγή γαμετών, τότε οι διαφορετικοί συνδυασμοί μη ομόλογων χρωμοσωμάτων που μπορούν να εμφανιστούν σε διαφορετικούς γαμέτες (απλοειδή n κύτταρα) που θα προκύψουν από αυτήν είναι $\mathbf{2^n}$. Αυτό για τον άνθρωπο σημαίνει ότι κάθε γονέας έχει καταθέσει σε κάθε γαμέτη του τον **έναν** από τους 2^{23} συνδυασμούς που μπορεί να παραγάγει.

Σε αντίθεση με τον ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων, ο οποίος έχει ως αποτέλεσμα την αναδιανομή των γονιδίων που βρίσκονται σε μη ομόλογα χρωμοσώματα, ο επιχιασμός ανασυνδυάζει γονίδια

Το γεγονός ότι, χάρη στον ανεξάρτητο συνδυασμό χρωμοσωμάτων και στον επιχιασμό είναι στατιστικά απίθανη η δημιουργία πανομοιότυπων μεταξύ τους οργανισμών, που είναι και η ουσία της γενετικής ποικιλομορφίας που χαρακτηρίζει τους αμφιγονικά αναπαραγόμενους οργανισμούς, έχει μεγάλη σημασία για την εξέλιξη.

Μερικοί από τους συνδυασμούς γονιδίων (άρα και γνωρισμάτων που επηρεάζονται από τα γονίδια αυτά) είναι επιτυχέστεροι απ' ό,τι άλλοι, με την έννοια ότι προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες επιβίωσης στο φορέα τους σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο μηχανισμός αυτός συμβάλλει στην εξέλιξη, γιατί κάθε πληθυσμός περνά στις επόμενες γενιές του πιο ευνοϊκούς συνδυασμούς γονιδίων και γνωρισμάτων.

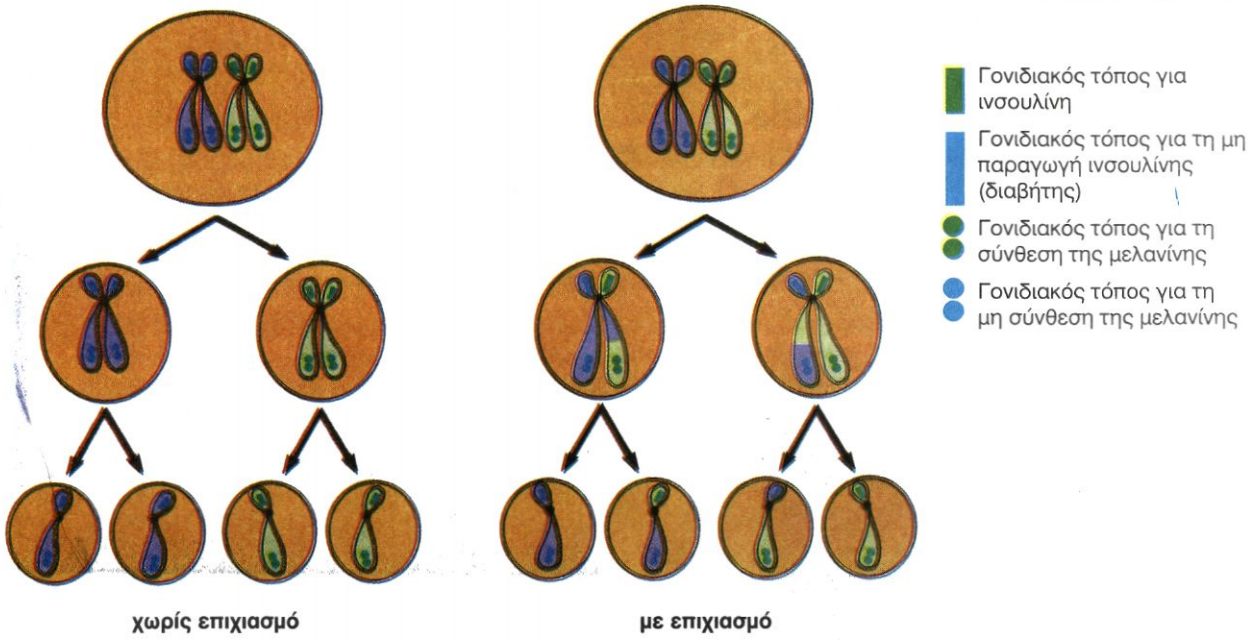
ΚΑΡΥΟΤΥΠΟΣ

Καρυότυπος είναι η φωτογραφική απεικόνιση των μεταφασικών χρωμοσωμάτων ενός οργανισμού, τοποθετημένων με σειρά από το μεγαλύτερο χρωμόσωμα προς το μικρότερο.

Γενικά, από τον καρυότυπο μπορούμε να παρατηρήσουμε οτιδήποτε έχει σχέση με τον αριθμό και το είδος των χρωμοσωμάτων, καθώς και με χρωμοσωμικές ανωμαλίες, που είναι ορατές με το οπτικό μικροσκόπιο.

Για να γίνει ο καρυότυπος ενός οργανισμού, πρέπει να πάρουμε από αυτόν κύτταρα τα οποία πολλαπλασιάζονται γρήγορα. Τέτοια κύτταρα στον άνθρωπο είναι τα λευκά αιμοσφαίρια. Καλλιεργούμε τα κύτταρα αυτά και, όταν φτάσουμε στη μετάφαση, αναστέλλουμε την κυτταρική διαίρεση με ειδικές ουσίες. Στη συνέχεια βάφουμε τα χρωμοσώματά τους με κατάλληλες χρωστικές και τα φωτογραφίζουμε. Κόβουμε από τη φωτογραφία ένα ένα τα χρωμοσώματα και φτιάχνουμε μια νέα εικόνα, στην οποία τα χρωμοσώματα είναι τοποθετημένα με σειρά από το μεγαλύτερο προς το μικρότερο και τα ομόλογα χρωμοσώματα είναι τοποθετημένα το ένα δίπλα στο άλλο.

Στα βαμμένα χρωμοσώματα διακρίνονται ζώνες, από τις οποίες μπορούμε να βγάλουμε διάφορα συμπεράσματα σχετικά με χρωμοσωμικές ανωμαλίες που αφορούν την κατασκευή τους.



Με τον επιχιασμό διαφοροποιείται η γονιδιακή σύσταση των γαμετών.

που βρίσκονται στο ίδιο το ζεύγος ομόλογων χρωμοσωμάτων. Αυτό συμβαίνει, γιατί με την ανταλλαγή αντίστοιχων τμημάτων, που γίνεται μεταξύ των μη αδελφών χρωματίδων των ομόλογων χρωμοσωμάτων, ανταλλάσσονται και γονίδια.

Ο συνδυασμός των δύο μηχανισμών που αναφέρθηκαν έχει ως συνέπεια σε κάθε γαμέτη να αντιπροσωπεύεται ένα μοναδικό «μείγμα» γονιδίων που βρίσκονται σε διαφορετικά χρωμοσώματα και ταυτόχρονα ένα μοναδικό «μείγμα» γονιδίων που βρίσκονται στο ίδιο χρωμόσωμα.

Έτσι λοιπόν, χάρη στη μείωση, είναι στατιστικά απίθανο εμείς και κάποιο από τα αδέλφια μας να έχουμε την ίδια συλλογή χρωμοσωμάτων και γονιδίων και από τους δύο γονείς, οπότε να είμαστε πανομοιότυποι μεταξύ μας.

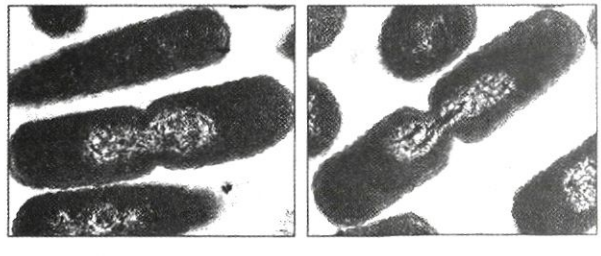
Το γεγονός αυτό,που είναι η ουσία της γενετικής ποικιλομορφίας που χαρακτηρίζει τους αμφιγονικά αναπαραγόμενους οργανισμούς, έχει μεγάλη σημασία για την εξέλιξη.

Μερικοί από τους συνδυασμούς γονιδίων (άρα και γνωρισμάτων που επηρεάζονται από τα γονίδια αυτά) είναι επιτυχέστεροι απ' ό,τι άλλοι, με την έννοια ότι προσφέρουν μεγαλύτερες δυνατότητες επιβίωσης στο φορέα τους σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες. Ο μηχανισμός αυτός συμβάλλει στην εξέλιξη, γιατί κάθε πληθυσμός περνά στις επόμενες γενιές του πιο ευνοϊκούς συνδυασμούς γονιδίων και γνωρισμάτων.

Κυτταρική διαίρεση στους προκαρυωτικούς οργανισμούς

Το είδος της κυτταρικής διαίρεσης με το οποίο αναπαράγονται οι προκαρυωτικοί οργανισμοί, συγκρινόμενο με το βασικό τύπο κυτταρικής διαίρεσης των ευκαρυωτικών, τη μίτωση, είναι απλούστερο. Το βακτηριακό «χρωμόσωμα», για παράδειγμα, είναι ουσιαστικά ένα κυκλικό μόριο DNA, το οποίο αυτοδιπλασιάζεται πριν από τη διαίρεση του βακτηρίου. Τα δύο «χρωμοσώματα» μοιράζονται στα θυγατρικά κύτταρα με τη βοήθεια της κυτταρικής μεμβράνης, χωρίς τη δημιουργία ατράκτου.

Τη διανομή του γενετικού υλικού ακολουθεί η διαίρεση του κυτταροπλάσματος. Τα δύο θυγατρικά κύτταρα αποχωρίζονται με την ανάπτυξη νέων κυτταρικών τοιχωμάτων.

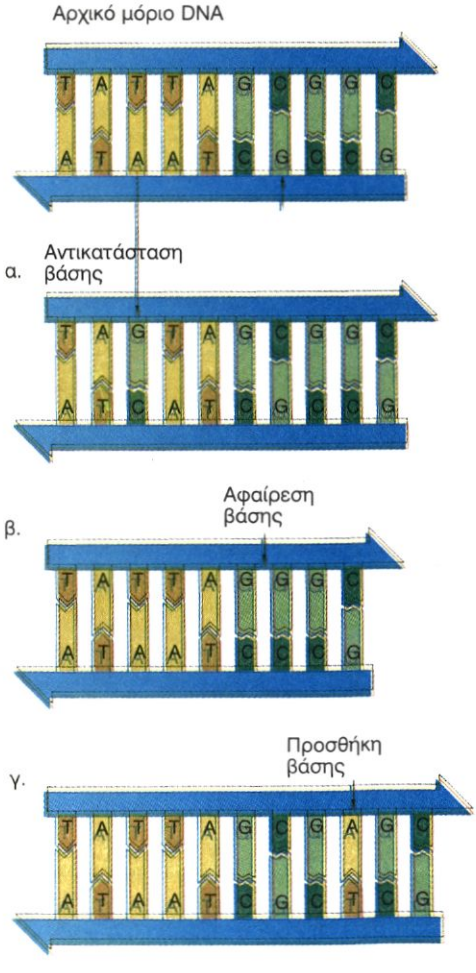


α. β.

Διαίρεση προκαρυωτικού κυττάρου, όπου φαίνεται η διαίρεση: α) της πυρηνικής περιοχής και β) του κυτταροπλάσματος.

4.4 ΓΟΝΙΔΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΛΛΑΞΕΙΣ - ΧΡΩΜΟΣΩΜΙΚΕΣ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ

Ο αυτοδιπλασιασμός του γενετικού υλικού και η μιτωτική διαίρεση διασφαλίζουν την αναλλοίωτη μεταβίβαση των γενετικών πληροφοριών από γενιά σε γενιά, συμβάλλοντας στη διατήρηση της γενετικής σταθερότητας. Όσο σημαντική είναι όμως η διατήρηση της γενετικής σταθερότητας των οργανισμών τόσο σημαντική είναι και η προσαρμογή τους στο μεταβαλλόμενο περιβάλλον. Σ' αυτό μπορεί να συμβάλουν οι μεταλλάξεις, μία κατηγορία γενετικών αλλαγών.
Οι μεταλλάξεις που συμβαίνουν σε αμφιγονικά αναπαραγόμενους οργανισμούς, για να κληρονομηθούν στους απογόνους τους, πρέπει να συμβούν κατά το σχηματισμό των γαμετών. Οι μεταλλάξεις που συμβαίνουν στα σωματικά κύτταρα των πολυκύτταρων οργανισμών δεν κληρονομούνται στους απο-γόνους τους. Μεταβιβάζονται μόνο στα θυγατρικά κύτταρα του κυττάρου που τις έχει υποστεί.
Οι μεταλλάξεις μπορεί να συμβούν τυχαία υπό την επίδραση παραγόντων, οι οποίοι ονομάζονται **μεταλλαξογόνοι παράγοντες**. Σ' αυτούς ανήκουν διάφορες ακτινοβολίες (π.χ. οι ακτίνες Χ), χημικές ουσίες κ.ά.
Οι μεταλλάξεις διακρίνονται σε γονιδιακές μεταλλάξεις και χρωμοσωμικές ανωμαλίες.

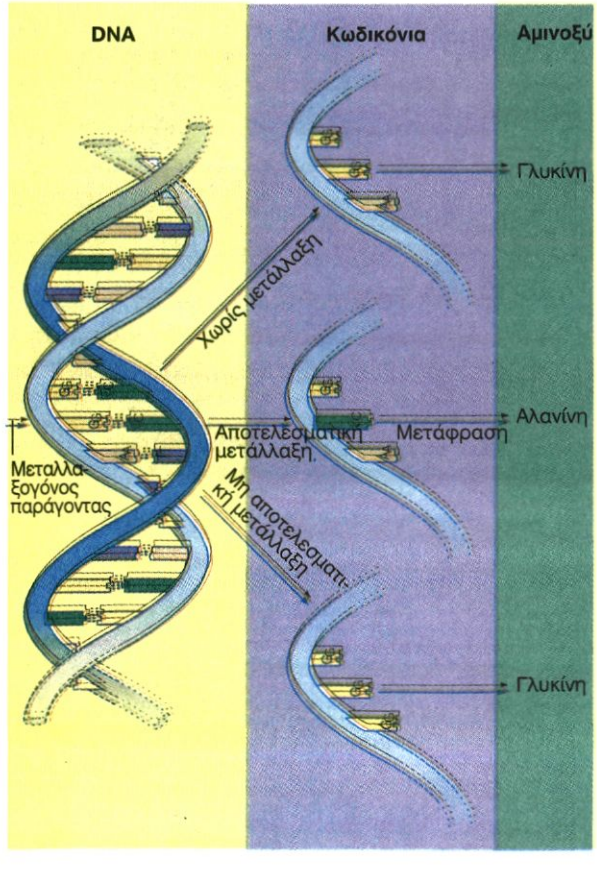


Διάφορες περιπτώσεις γονιδιακών μεταλλάξεων: (α) αντικατάσταση βάσης, (β) αφαίρεση βάσης, (γ) προσθήκη βάσης.

Γονιδιακές μεταλλάξεις

Γονιδιακές μεταλλάξεις ονομάζονται οι μεταβολές στη σειρά των βάσεων ενός γονιδίου. Είναι αποτέλεσμα λαθών στην αντιγραφή του DNA και οδηγούν στην εμφάνιση νέων αλληλόμορφων γονιδίων. Αλλαγή στη σειρά των βάσεων μπορεί να προκύψει με την αντικατάσταση, την προσθήκη ή την αφαίρεση ενός νουκλεοτιδίου.

Συνέπειες για τη δομή της πεπτιδικής αλυσίδας από μια γονιδιακή μετάλλαξη.

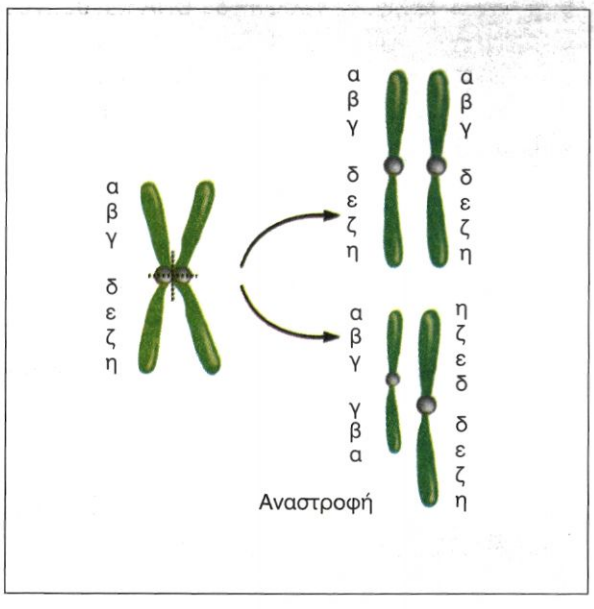


Χρωμοσωμικές ανωμαλίες

Οι χρωμοσωμικές ανωμαλίες αποτελούν μεταβολές είτε στην κατασκευή των χρωμοσωμάτων (**δομικές**) είτε στον αριθμό τους (**αριθμητικές**). Χαρακτηριστικές περιπτώσεις δομικών χρωμοσωμικών ανωμαλιών είναι η αναστροφή, η μετατόπιση, η έλλειψη και ο διπλασιασμός.

Από τις αριθμητικές ανωμαλίες αυτή που εμφανίζεται συχνότερα στον άνθρωπο είναι το **σύνδρομο Down.** Πρόκειται για μια κατάσταση στην οποία ένα συγκεκριμένο χρωμόσωμα, που στον καρυότυπο του ανθρώπου φέρει τον αριθμό 21, υπάρχει τρεις αντί για δύο φορές.

Άτομο με σύνδρομο Down.



Χρωμοσωμικές ανωμαλίες

ΑΣ ΣΚΕΦΤΟΥΜΕ...

Γονιδιακή μετάλλαξη συνεπάγεται πάντοτε και αλλαγή στη σειρά των αμινοξέων της πολυπεπτιδικής αλυσίδας, την οποία κωδικοποιεί το συγκεκριμένο γονίδιο; Σχεδιάστε ένα παράδειγμα, το οποίο να δικαιολογεί την απάντηση.

Υπάρχουν περίπου $4x10^9$ άνθρωποι στη Γη. Με δύο μεταλλάξεις ανά άτομο ο συνολικός αριθμός των μεταλλάξεων στο σημερινό ανθρώπινο πληθυσμό γίνεται $8x10^9$. Αν δεχτούμε ότι ο μέσος ρυθμός μετάλλαξης ανά γονίδιο και ανά γενιά είναι 10^{-5}, τότε έχουμε $4x10^9$ άτομα x 2 γονίδια x 10^{-5} ανά γονίδιο. Αυτά μας δίνουν 80.000 νέες μεταλλάξεις ανά γονίδιο και ανά γενιά. Ο αριθμός είναι τεράστιος.

Οι μεγάλοι αυτοί αριθμοί νέων μεταλλάξεων, σε συνδυασμό με αυτές που έχουν ήδη «αποθηκευθεί» στους πληθυσμούς από τις προηγούμενες γενιές, βοηθούν τους πληθυσμούς να προσαρμόζονται στις συνεχώς μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Συνεπώς οι μεταλλάξεις έχουν ένα σημαντικότατο ρόλο, που δε γίνεται άμεσα αντιληπτός: να δημιουργούν γενετική ποικιλότητα, που είναι απαραίτητη για την εξέλιξη των οργανισμών.

4.5 ΓΕΝΕΤΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ

Η κατανόηση των μηχανισμών που διέπουν την έκφραση της γενετικής πληροφορίας άνοιξε καινούριους δρόμους για τους βιολόγους ερευνητές. Το πρώτο βήμα ήταν η πραγματοποίηση αυτών των διαδικασιών και στο εργαστήριο (in vitro). Ο δρόμος ήταν πλέον ανοιχτός για την παραγωγή χρήσιμων πρωτεϊνων, όπως η ινσουλίνη, ορμόνη απαραίτητη για τους πάσχοντες από σακχαρώδη διαβήτη.

Το δρόμο άνοιξε μια ανακάλυψη του Γ. Άρμπερ, Ελβετού βιολόγου, που έθεσε τις βάσεις για τον προσδιορισμό και την απομόνωση από βακτήρια, όπως η E. coli μιας σειράς ενζύμων (ενδονουκλεάσες περιορισμού), τα οποία έχουν τη δυνατότητα να κόβουν το μόριο του DNA σε συγκεκριμένα σημεία, δημιουργώντας άκρα με συγκεκριμένη αλληλουχία νουκλεοτιδίων. Παίζουν δηλαδή, το ρόλο μοριακών ψαλιδιών.

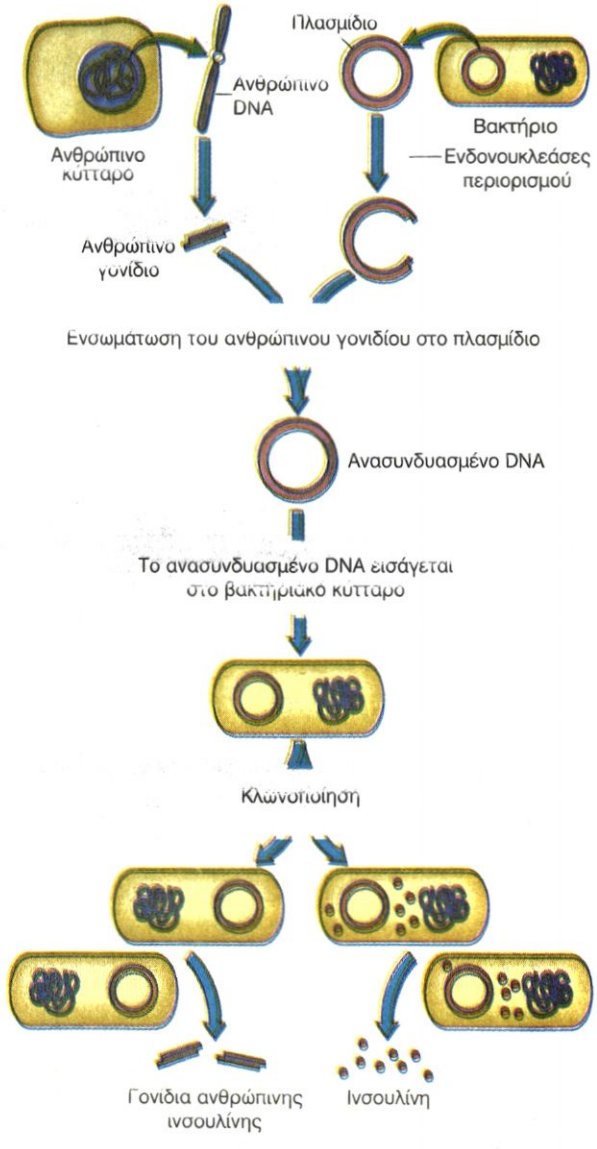
Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: απομονώνεται από κύτταρα ανθρώπου το DNA, το οποίο στη συνέχεια κόβεται, με τη βοήθεια κατάλληλου ενζύμου, σε συγκεκριμένα σημεία, ώστε να απομονωθεί το τμήμα του DNA το οποίο περιέχει το γονίδιο που μας ενδιαφέρει (για παράδειγμα, το γονίδιο που είναι υπεύθυνο για τη σύνθεση μιας ορμόνης). Τα άκρα των κομματιών που δημιουργούνται παρουσιάζουν καθορισμένη αλληλουχία βάσεων.

Παράλληλα από βακτήρια E. coli απομονώνονται πλασμίδια (μικρά κυκλικά μόρια DNA, που υπάρχουν ανεξάρτητα από το κύριο γενετικό υλικό του βακτηρίου). Με την επίδραση του ίδιου ενζύμου κάθε πλασμίδιο κόβεται σε συγκεκριμένη περιοχή. Δημιουργούνται έτσι και σ' αυτό άκρα με αλληλουχία βάσεων, συμπληρωματική εκείνης που υπάρχει στα άκρα του DNA του γονιδίου που απομονώθηκε από τον άνθρωπο. Αυτό επιτρέπει τη σύνδεση του τμήματος του DNA που περιέχει το επιθυμητό γονίδιο με το βακτηριακό πλασμίδιο. Το DNA που προκύπτει είναι το **ανασυνδυασμένο DNA**.

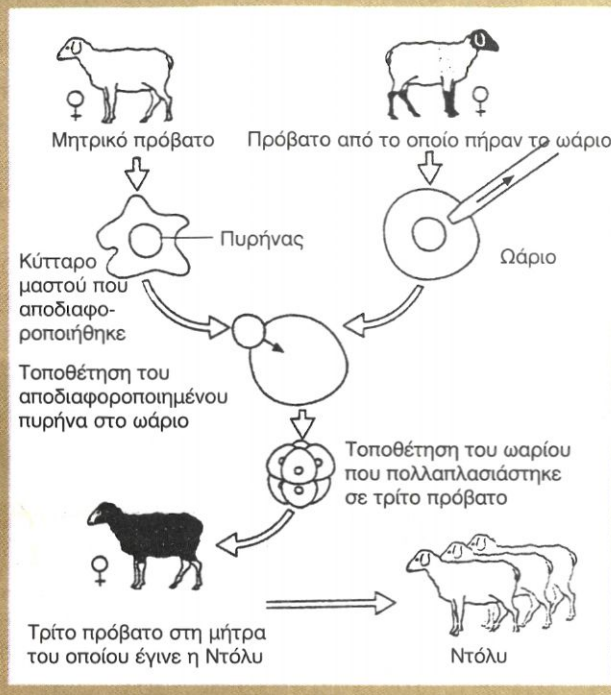
Το ανασυνδυασμένο DNA τοποθετείται και πάλι σε βακτήρια, τα οποία το αντιγράφουν, το μεταγράφουν και το μεταφράζουν παράλληλα με το δικό τους γενετικό υλικό. Παράγουν δηλαδή και την ορμόνη για την οποία είναι υπεύθυνο το γονίδιο που έχει ενσωματωθεί στο πλασμίδιο.

Από τον πολλαπλασιασμό των βακτηρίων που φέρουν το ανασυνδυασμένο DNA με μονογονία προκύπτουν γενετικά όμοια βακτήρια (κλώνοι), τα οποία έχουν όλα τη δυνατότητα, αφού περιέχουν το ανασυνδυασμένο DNA, να παράγουν και την επιθυμητή πρωτεΐνη.

Η διαδικασία αυτή απλοποιήθηκε με την ανακάλυψη και απομόνωση του ενζύμου αντίστροφη μεταγραφάση από τους Χ. Τέμιν και Ντ. Μπάλτιμορ, που τιμήθηκαν με βραβείο Νόμπελ, όπως και ο Γ. Άρμπερ. Χάρη στο ένζυμο αυτό δεν είναι πλέον απαραίτητο να απομονωθεί το ίδιο το τμήμα του DNA που ενδιαφέρει, για να ενσωματωθεί στο πλασμίδιο. Αρκεί το mRNA, που προκύπτει από τη μεταγραφή αυτού του τμήματος, το οποίο εύκολα μπορεί να απομονωθεί από το κυτταρόπλασμα των κυττάρων που παράγουν τη συγκεκριμένη πρωτεΐνη. Από το mRNA, με μια διαδικασία που ονομάσθηκε **αντίστροφη μεταγραφή** και που γίνεται με τη βοήθεια του ενζύμου αντίστροφη μεταγραφάση, συντίθεται το DNA που ενδιαφέρει.



Παραγωγή ινσουλίνης με τη μέθοδο του ανασυνδυασμένου DNA.



ΝΤΟΛΥ

Τα ζώα που διαθέτουν σπονδυλική στήλη ονομάζονται σπονδυλόζωα και αναπαράγονται με αμφιγονία. Οι προσπάθειες που γίνονταν μέχρι τελευταία για την αναπαραγωγή των ζώων αυτών με μονογονία, δηλαδή με έναν τρόπο που δεν είναι γι' αυτά φυσικός, απέτυχαν. Η κυριότερη αιτία της αποτυχίας ήταν η διαφοροποίηση που εμφανίζουν τα σωματικά κύτταρα. Τα σωματικά κύτταρα ενός σπονδυλόζωου είναι διπλοειδή και φέρουν στα χρωμοσώματά τους όλα τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου οργανισμού. Όμως από το σύνολο των γονιδίων που υπάρχουν σε κάθε είδος σωματικών κυττάρων εκφράζονται μόνο ορισμένα. Έτσι το είδος των κυττάρων αυτών αποκτά ιδιαίτερα μορφολογικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά και τελικά εξειδικεύεται στην εκτέλεση ορισμένων μόνο λειτουργιών από το σύνολο των λειτουργιών που γίνονται στον οργανισμό. Για παράδειγμα, τα μυϊκά κύτταρα συγκροτούν τους μυς που εξειδικεύονται στην κίνηση του σώματος. Τα ερυθρά αιμοσφαίρια μεταφέρουν O_2 και CO_2. Τα νευρικά κύτταρα μεταφέρουν ερεθίσματα κ.ο.κ.

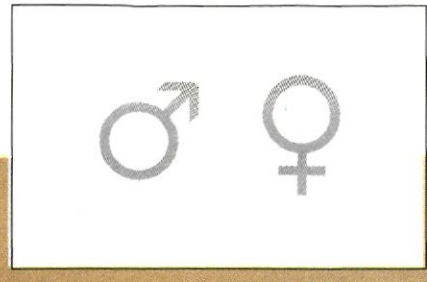
Την κατάσταση αυτή μπορούμε να την παρομοιάσουμε με ένα εργοστάσιο σε λειτουργία, στο οποίο οι διάφοροι κλάδοι τεχνιτών, που αντιστοιχούν στα διάφορα είδη κυττάρων, ενώ διαθέτουν το βιβλίο με όλες τις οδηγίες για τη λειτουργία του εργοστασίου, δηλαδή το σύνολο των γονιδίων, διαβάζουν και εκτελούν μόνο τις οδηγίες που τους αφορούν. Έχουμε δηλαδή εκλεκτική έκφραση του γενετικού υλικού.

Οι μηχανισμοί που προκαλούν τη διαφοροποίηση παραμένουν άγνωστοι. Εάν πάρουμε από τον πυρήνα ενός σωματικού κυττάρου το γενετικό υλικό και το αφήσουμε να εκφραστεί, θα παραχθούν μόνο οι πρωτεΐνες που υπάρχουν στο κύτταρο αυτό και όχι το σύνολο των πρωτεϊνών του οργανισμού. Αυτό οφείλεται στη διαφοροποίηση. Από τον πολλαπλασιασμό ενός κυττάρου παράγονται μόνο όμοιά του κύτταρα. Εάν πάρουμε, για παράδειγμα, κύτταρα δέρματος και τα αφήσουμε να πολλαπλασιαστούν, θα παραγάγουν μόνο όμοια κύτταρα (δέρματος) και όχι τα υπόλοιπα κύτταρα του οργανισμού.

*Επιστήμονες στη Σκωτία κατάφεραν το ακατόρθωτο. Πήραν σωματικά κύτταρα από ένα πρόβατο, και συγκεκριμένα από το μαστό του, και τα αποδιαφοροποίησαν, με αποτέλεσμα να εκφράζονται όλα τα γονίδια του γενετικού υλικού του πυρήνα. Στη συνέχεια αφαίρεσαν τον πυρήνα από ένα τέτοιο κύτταρο και τον τοποθέτησαν στο ωάριο ενός άλλου προβάτου. Το ωάριο αυτό με τον αποδιαφοροποιημένο πυρήνα πολλαπλασιάστηκε στη μήτρα ενός τρίτου προβάτου, που γέννησε τελικά την **Ντόλυ**.*

Με τη δημιουργία της Ντόλυ οι επιστήμονες είχαν καταφέρει να αναπαραγάγουν ένα σπονδυλόζωο με μονογονία. Το νέο αυτό ζώο φέρει όλα τα χαρακτηριστικά του μητρικού προβάτου, αυτού δηλαδή από το οποίο πήραν το κύτταρο του μαστού. Αποτελεί επομένως κλώνο του. Το μητρικό πρόβατο είχε αποκτήσει, με τη βοήθεια της Γενετικής Μηχανικής, την ιδιότητα να παράγει γάλα με ινσουλίνη. Η ιδιότητα αυτή πέρασε φυσικά και στην κόρη της, την Ντόλυ.

Η διαδικασία αυτή δεν είναι καινούρια για τη φύση, ακολουθείται κατά τον πολλαπλασιασμό ορισμένων ιών με γενετικό υλικό RNA.
Πρωτοπόροι στη «σύνθεση» γονιδίων με την τεχνική αυτή υπήρξαν οι Έλληνες ερευνητές του Πανεπιστημίου του Χάρβαρντ Φώτης Καφάτος, Αργύρης Ευστρατιάδης κ.ά., οι οποίοι πέτυχαν τη σύνθεση του γονιδίου που ελέγχει την παραγωγή της αιμοσφαιρίνης του κουνελιού.
Σήμερα με τη μέθοδο αυτή παράγονται εμβόλια, αντιβιοτικά, ένζυμα απαραίτητα για την έρευνα ή την τεχνολογία αλλά και για την αντιμετώπιση προβλημάτων σε διάφορους τομείς της καθημερινής ζωής.
Η εξέλιξη της τεχνολογίας εξάλλου επέτρεψε τη δημιουργία αυτόματων μηχανημάτων, που κάνουν την ανάλυση της αλληλουχίας των βάσεων ενός τμήματος DNA. Είναι γνωστό ότι βρίσκεται σε εξέλιξη πρόγραμμα για τη χαρτογράφηση όλων των γονιδίων του ανθρώπου. Οι επιστήμονες πιστεύουν ότι, ανάμεσα στα άλλα, σύντομα θα είναι δυνατή η αντικατάσταση μεταλλαγμένων γονιδίων, που προκαλούν ασθένειες στον άνθρωπο, με άλλα φυσιολογικά.
Το «κουτί της Πανδώρας» έχει ανοίξει και όλοι ελπίζουν ότι στο τέλος θα ξεπροβάλει απ' αυτό η τεχνολογία, που θα βοηθήσει στη βελτίωση της ποιότητας ζωής του ανθρώπου.



ΣΥΜΒΟΛΑ ΑΡΣΕΝΙΚΟΥ-ΘΗΛΥΚΟΥ

Το Μεσαίωνα οι αλχημιστές συμβόλιζαν τον πλανήτη Άρη με το σύμβολο ♂, που παριστάνει το ακόντιο και την ασπίδα του. Αργότερα το σύμβολο αυτό επικράτησε για το συμβολισμό του ανδροπρεπούς και στη συνέχεια παρέμεινε ως σύμβολο του άνδρα.

Την ίδια εποχή τον πλανήτη Αφροδίτη τον συμβόλιζαν με το σύμβολο ♀. Το σύμβολο αυτό παρίστανε τον καθρέφτη στον οποίο η Αφροδίτη παρατηρούσε την ομορφιά της. Καθιερώθηκε στη συνέχεια για το συμβολισμό του θηλυκού και της γυναίκας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα ευκαρυωτικά κύτταρα υπάρχουν δύο τύποι κυτταρικής διαίρεσης, η μίτωση και η μείωση.

Η μίτωση περιλαμβάνει την πυρηνική διαίρεση και την κυτταροπλασματική διαίρεση. Η πυρηνική διαίρεση περιλαμβάνει τέσσερα στάδια: την πρόφαση, τη μετάφαση, την ανάφαση και την τελόφαση.
Τα δυο θυγατρικά κύτταρα που προκύπτουν έχουν τον ίδιο αριθμό χρωμοσωμάτων με το αρχικό.
Η μείωση γίνεται στους αμφιγονικά αναπαραγόμενους οργανισμούς και μέσω αυτής παράγονται οι γαμέτες, που έχουν το μισό αριθμό χρωμοσωμάτων από το αρχικό κύτταρο. Περιλαμβάνει δυο διαδοχικές κυτταροδιαιρέσεις, την πρώτη μειωτική διαίρεση και τη δεύτερη μειωτική διαίρεση.
Κατά τη διαίρεση των προκαρυωτικών κυττάρων δε συμβαίνει μίτωση.

Οι κληρονομήσιμες αλλαγές του γενετικού υλικού λέγονται μεταλλάξεις και διακρίνονται σε γονιδιακές και χρωμοσωμικές ανωμαλίες.
Με τη Γενετική Μηχανική μεταφέρεται γενετικό υλικό από έναν οργανισμό σ' έναν άλλο.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ

1. Μετά τη μίτωση τα θυγατρικά κύτταρα σ' ένα διπλοειδή οργανισμό τυπικά:
   α. Είναι 2n
   β. Έχουν ομόλογα χρωμοσώματα
   γ. Εισέρχονται στην G_1 φάση
   δ. Όλα τα παραπάνω είναι σωστά

2. Ο διπλοειδής αριθμός χρωμοσωμάτων:
   α. Είναι 2n
   β. Είναι διαφορερικός ανάλογα με το είδος του οργανισμού
   γ. Ήταν στο πατρικό κύτταρο και μεταφέρεται στα δυο θυγατρικά κύτταρα μετά τη μίτωση
   δ. Όλα τα παραπάνω είναι σωστά

3. Γενετική ποικιλομορφία γίνεται κατά τη μείωση, γιατί:
   α. Συμβαίνει επιχιασμός
   β. Υπάρχουν τέσσερις χρωματίδες σ' ένα ζευγάρι ομόλογων χρωμοσωμάτων
   γ. Τα ομόλογα χρωμοσώματα μοιράζονται ανεξάρτητα
   δ. Είναι σωστά τα α και γ

4. Οι γαμέτες περιέχουν ένα χρωμόσωμα από κάθε ζευγάρι χρωμοσωμάτων, γιατί:
   α. Τα ομόλογα χρωμοσώματα διαχωρίζονται κατά τη διάρκεια της μείωσης
   β. Οι αδελφές χρωματίδες δε διαχωρίζονται κατά τη διάρκεια της μείωσης
   γ. Συμβαίνουν δυο διπλασιασμοί του DNA κατά τη διάρκεια της μείωσης
   δ. Γίνεται επιχιασμός κατά τη διάρκεια της πρόφασης Ι

5. Επιχιασμός συμβαίνει μεταξύ:
   α. Των αδελφών χρωματίδων των ίδιων χρωμοσωμάτων
   β. Των μη αδελφών χρωματίδων ενός ζεύγους ομόλογων χρωμοσωμάτων
   γ. Δυο διαφορετικών ζευγών ομόλογων χρωμοσωμάτων
   δ. Δυο θυγατρικών πυρήνων

6. Η κολχικίνη είναι μια χημική ουσία η οποία, όταν επιδράσει στο κύτταρο, καταστρέφει την κυτταρική άτρακτο. Εάν σ' ένα κύτταρο επιδράσει η κολχικίνη:
   α. Ποια φάση του κυτταρικού κύκλου αναστέλλεται;
   β. Αν το κύτταρο δε νεκρωθεί και προχωρήσει σε νέο κυτταρικό κύκλο, ποιος θα είναι ο αριθμός των χρωμοσωμάτων στην επόμενη γενιά κυττάρων. Δικαιολογήστε την απάντησή σας.

7. Σε ποια φάση της ζωής του κυττάρου τα χρωμοσώματα γίνονται περισσότερο ορατά;

8. Αναφέρετε δυο διαφορές που παρατηρούνται στη μίτωση ενός ζωικού και ενός φυτικού κυττάρου.

9. Αναφέρετε πέντε διαφορές μεταξύ ενός κυττάρου που βρίσκεται στη μεσόφαση και ενός κυττάρου που βρίσκεται στη μίτωση.

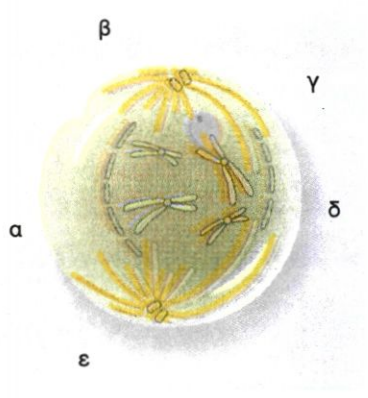
10. Αναφέρετε τέσσερις διαφορές μεταξύ μίτωσης και μείωσης.

11. Γιατί δυο γαμέτες ενός ατόμου είναι πολύ σπάνιο να είναι γενετικά όμοιοι;

12. Ένα κύτταρο που διαιρείται μιτωτικά έχει στη μετάφαση 4ngr DNA και 10 χρωματίδες. Να προσδιορίσετε τον αριθμό των χρωμοσωμάτων του και την ποσότητα του γενετικού υλικού σε κάθε θυγατρικό κύτταρο.

13. Ένα ανθρώπινο κύτταρο έχει στον πυρήνα του 46 χρωμοσώματα:
   α. Πόσα ομόλογα ζευγάρια υπάρχουν;
   β. Πόσα χρωμοσώματα υπάρχουν στην πρόφαση Ι;
   γ. Πόσα χρωμοσώματα υπάρχουν σε κάθε θυγατρικό κύτταρο μετά τη μίτωση;
   δ. Πόσα χρωμοσώματα υπάρχουν σε κάθε θυγατρικό κύτταρο μετά τη μείωση Ι;
   ε. Πόσες χρωματίδες υπάρχουν σε κάθε θυγατρικό κύτταρο μετά τη μείωση Ι;
   στ. Πόσες χρωματίδες υπάρχουν σε κάθε θυγατρικό κύτταρο μετά τη μείωση ΙΙ;

14. Σημειώστε τις ενδείξεις που λείπουν στο σχήμα που ακολουθεί:



α.

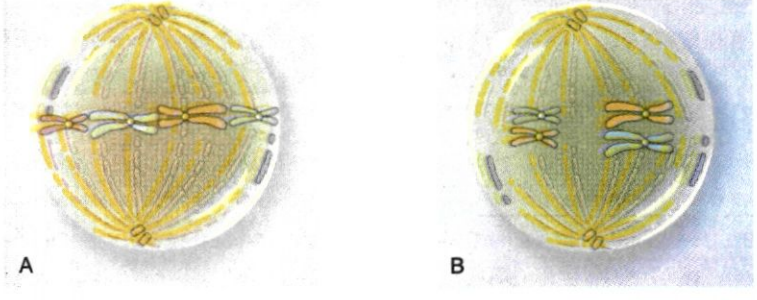
β.

γ.

δ.

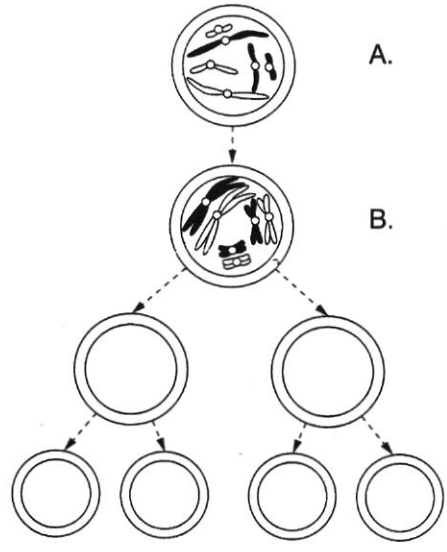
ε.

15. α. Ποιο από τα δυο σχήματα παρουσιάζει τη μετάφαση Ι;
   Δικαιολογήστε την απάντησή σας.



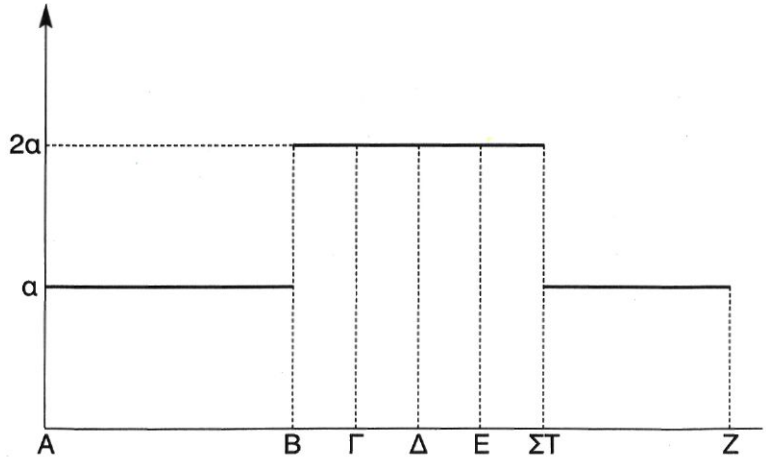
   β. Τι είναι ο επιχιασμός;
   γ. Το κύτταρο στο σχήμα Α έχει ποσότητα DNA 20 αυθαίρετες μονάδες. Πόσες μονάδες θα υπάρχουν σε κάθε θυγατρικό κύτταρο μετά το τέλος:
      i) της μίτωσης
      ii) της μείωσης

16. Το σχήμα δείχνει ένα ζωικό κύτταρο που υφίσταται μείωση:



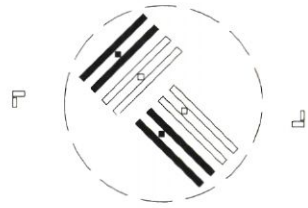
α. Αναφέρετε το διπλοειδή αριθμό των χρωμοσωμάτων του κυττάρου.
β. Ποια φάση της κυτταρικής διαίρεσης δείχνει το στάδιο Β; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
γ. Σχεδιάστε μέσα στα κύτταρα τα χρωμοσώματα με το σωστό μέγεθος και χρώμα.
δ. Εξηγήστε δυο μηχανισμούς με τους οποίους η μείωση συνεισφέρει στην ποικιλομορφία. Σε ποια φάση της μείωσης συμβαίνουν;

17. Το ακόλουθο διάγραμμα παρουσιάζει τη μεταβολή της ποσότητας του γενετικού υλικού ενός ευκαρυωτικού κυττάρου κατά τη διάρκεια του κυτταρικού κύκλου του. Αν α και 2α είναι η ποσότητα του γενετικού υλικού του και ΑΒ, ΒΓ, ΓΔ κ.τ.λ. οι διαφορετικές φάσεις του κύκλου του, να απαντήσετε στις ακόλουθες ερωτήσεις:



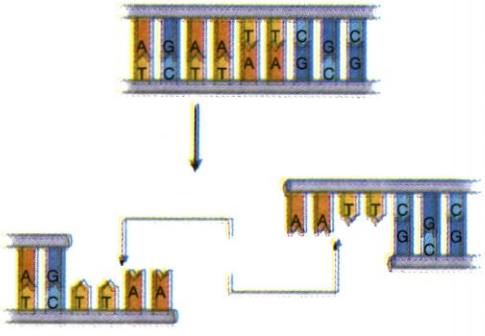
1. Με ποιο είδος κυτταρικής διαίρεσης διαιρείται το συγκεκριμένο κύτταρο και γιατί;
2. Ποια η βιολογική σημασία αυτού του είδους της κυτταροδιαίρεσης;
3. Σε ποιο από τα στάδια ΑΒ, ΒΓ, ΓΔ κ.τ.λ. το γενετικό υλικό παρουσιάζεται με τη μορφή δικτύου χρωματίνης, χρωμοσωμάτων που αποτελούνται από 2 χρωματίδες και χρωματίδων που αντιπροσωπεύουν χρωμοσώματα;
4. Να συγκρίνετε τα δύο βασικά είδη κυτταροδιαίρεσης που χρησιμοποιούν οι ευκαρυωτικοί οργανισμοί.

18. Στο σχήμα παρουσιάζεται ένα κύτταρο στη διάρκεια της μείωσης. Να απαντήσετε στις ακόλουθες ερωτήσεις:



1. Το κύτταρο ανήκει σε απλοειδή ή σε διπλοειδή οργανισμό και γιατί;
2. Σε ποιο στάδιο της μειωτικής διαίρεσης βρίσκεται και γιατί;
3. Σχεδιάστε τα διάφορα μειωτικά προϊόντα που μπορεί να δώσει, εξηγώντας σχηματικά το μηχανισμό με τον οποίο παράγονται.
4. Αν το κύτταρο έχει 4 μονάδες μάζας DNA στο στάδιο που εικονίζεται, ποια είναι η ποσότητα του DNA του κατά τη μετάφαση I και II, την ανάφαση I και II, την πρόφαση I και II, την τελόφαση I και II;

19. Μια ενδονουκλεάση περιορισμού έχει κόψει τη διπλή αλυσίδα ενός μορίου DNA, όπως δείχνει το παρακάτω σχήμα:



Ποια θα είναι η αλληλουχία των βάσεων που θα ζευγαρώσει στο αριστερό και ποια στο δεξιό τμήμα του DNA;

20. Ένα υποθετικό βακτήριο περιέχει 3.960 αμινοξέα. Αν το μέσο Μ.Β. των αμινοξέων είναι 100, να απαντήσετε στις ακόλουθες ερωτήσεις:
1. Πόσες πρωτεΐνες Μ.Β. 6.000 μπορεί να περιέχει το βακτήριο και γιατί;
2. Από πόσα νουκλεοτίδια αποτελείται το DNA που τις κωδικοποιεί και γιατί;
3. Από πόσα νουκλεοτίδια αποτελούνται τα μόρια mRNA που παράγονται κατά τη μεταγραφή και γιατί;

Σημείωση: Να μη ληφθεί υπόψη η αφαίρεση μορίων νερού κατά το σχηματισμό του πεπτιδικού δεσμού.

ΑΣ ΕΡΕΥΝΗΣΟΥΜΕ...

1. Οι ασθένειες σύνδρομο Klinefelter, σύνδρομο Turner, δρεπανοκυτταρική αναιμία και φαινυλκετονουρία οφείλονται σε γενετικές ανωμαλίες. Χρησιμοποιήστε βιβλιογραφικές πηγές, για να βρείτε στοιχεία για τις ασθένειες αυτές. Φτιάξτε στη συνέχεια έναν πίνακα με τον οποίο θα ενημερώνετε τους συμμαθητές σας για τα στοιχεία που βρήκατε.

2. Ερευνήστε με ποιο τρόπο είναι δυνατό να παραχθούν χρήσιμες πρωτεΐνες για τον άνθρωπο, αλλά και την τεχνολογία, σε μεγάλες ποσότητες και σε σύντομο χρονικό διάστημα. Για την έρευνά σας ξεκινήστε με αφετηρία τη Γενετική Μηχανική.